

**Geogene und anthropogene Einflüsse auf ein isoliertes System (Düneninseln)  
in Bezug auf die Hydrochemie des Grundwassers**

Vom Fachbereich für Physik und Geowissenschaften  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina  
zu Braunschweig  
zur Erlangung des Grades einer  
Doktorin der Naturwissenschaften  
(Dr.rer.nat.)  
genehmigte  
D i s s e r t a t i o n

von  
Gloria Marggraf  
aus Erfurt

1. Referent: Prof. Dr. Joachim Wolff

2. Referent: Prof. Dr. Dieter Zachmann

eingereicht am: 09.12.2004

mündliche Prüfung (Disputation) am: 08.04.2005

Druckjahr: 2005

## **Vorveröffentlichungen der Dissertation**

Teilergebnisse aus dieser Arbeit wurden mit Genehmigung der Gemeinsamen Naturwissenschaftlichen Fakultät, vertreten durch Prof. Dr. Joachim Wolff, in den folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

### **Publikationen**

MARGGRAF, G. & NAUMANN, K. (2001): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- In: WOLFF, J. & SCHÖNIGER, M. [Hrsg.] (2001): Braunschweiger Grundwasserkolloquium 2001–Instrumentarien zur nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung.- Zbl. Geol. Paläont. Teil I, Heft 1/2, S. 77-91; Stuttgart.

WOLF, M., TEICHMANN, G., MARGGRAF, G. & WOLFF, J. (2002): Huminstoffuntersuchungen an Grundwasserproben der Ostfriesischen Insel Langeoog mit AFFFF und Fluoreszenzspektrometrie.- Jahresbericht 2001, GSF-Institut für Hydrologie, S. 62-69; Neuherberg.

MARGGRAF, G. & WOLFF, J. (2003): Das Grundwasser der Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney – eine hydrochemische Bestandsaufnahme.- In: WOLFF, J. & FÜHRBÖTER, J.F. [Hrsg.] (2003): Braunschweiger Grundwasserkolloquium 2003 – Grundwasserbeschaffenheit – heute und morgen.- Zbl. Geol. Paläont. Teil I, Heft 1/2, S. 195-212; Stuttgart.

MARGGRAF, G. & NAUMANN, K. (2003): Hydrogeologie und Grundwasserdynamik.- In: PETERSEN, J., POTT, R., JANIESCH, P. & WOLFF, J. (2003): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- S. 127-218; Husum (Husum Druck- und Verlagsgesellschaft).

### **Tagungsbeiträge**

MARGGRAF, G., NAUMANN, K. & WOLFF, J. (2000): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- Posterpräsentation, Fachtagung der Sektion Hydrogeologie der DGG vom 29.09. bis 04.10.2000; Heidelberg.

MARGGRAF, G., NAUMANN, K. & WOLFF, J. (2001): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- 68. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Nordwestdeutscher Geologen, 05.06. bis 08.06.2001, Bremerhaven.

MARGGRAF, G. (2002): Die Grundwasserbeschaffenheit im niedersächsischen Küstenbereich.- DVGW-Fachtagung: Nachhaltiges Grundwassermanagement im Nordseeküstenbereich, 25.04.2002, Oldenburg.

MARGGRAF, G. (2002): Hydrochemische Untersuchungen zur Qualitätssicherung bewirtschafteter Grundwasserressourcen auf den Ostfriesischen Inseln.- Fachtagung der Sektion Hydrogeologie der DGG vom 09.05. bis 11.05.2002; Greifswald.

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Joachim Wolff für seine uneingeschränkte Unterstützung, Geduld, stete Hilfsbereitschaft und das mir entgegengebrachte Vertrauen. Durch ihn wurde dieses Forschungsprojekt erst möglich.

Für die Übernahme des Korreferats, viele nützliche Hinweise und vor allem zahlreiche in dieser Arbeit verwendete Analysen möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dieter Zachmann und seinen Mitarbeitern bedanken.

Es freut mich sehr, dass Frau Prof. Dr. Antje Schwalb vom Institut für Umweltgeologie und Herr Prof. Dr. Klaus Fricke vom Leichtweiß-Institut für Wasserbau die Prüfungskommission bereichert haben, vielen Dank.

An dieser Stelle sei der Volkswagenstiftung, dem Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) sowie der Stadt und den Wirtschaftsbetrieben Norderney GmbH für die finanzielle Unterstützung des Forschungsprojektes gedankt. Ein spezieller Dank gebührt hierbei Herrn Rass und Herrn Sommer für ihre tatkräftige Unterstützung vor Ort.

Dem Projektteam „Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in ökologisch und hydrogeologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste“ danke ich für die gute Zusammenarbeit. Vor allem sei meiner Kollegin Frau Dipl.-Geol. Katrin Naumann, die im Rahmen des Projektes die Untersuchungen zur Hydrodynamik auf den Ostfriesischen Inseln durchgeführt und bei zahlreichen, in diesem Bericht genannten Arbeiten, mitgeholfen hat, gedankt. Des weiteren danke ich Herrn Klaus-Peter Schleicher und Herrn Hartmut Stosnach für viele engagierte und erfolgreiche Geländeeinsätze. Eine unschätzbare Hilfe bei der Laborarbeit waren mir zudem Herr Bernd Papenburg und die studentischen Hilfskräfte Birte Karfeld, Irina Kistner, Claudia Bähr, Silvia Matz und Christian Ziel. Den ehemaligen Diplomanden Markus Penning und Axel Bartsch danke ich für die gute Zuarbeit.

Bei Herrn Dipl.-Geoökologen Hans-Peter Dauck möchte ich mich herzlich für die Erstellung der GIS-Graphiken zum Grundwassermonitoring bedanken.

Vielen lieben Dank meinen Kollegen Dr. Antje Carstensen und Dr. Jens F. Führböter für ihre mentale Unterstützung, manche gutgemeinten Tritte und die kritische Durchsicht dieser Arbeit.

Vor allem jedoch möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden, besonders meinen Eltern, bedanken, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen und mir den nötigen Rückhalt gewährt haben. Eure Hilfe war unersetzlich. Herzlichen Dank.



Meinen Eltern

Sonja und Hans Marggraf

in Liebe und Dankbarkeit

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Zielstellung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Regionale Standortfaktoren</b>	<b>4</b>
3.1	Lage und Morphologie	4
3.2	Klima und Vegetation	6
3.3	Geologie	8
3.4	Hydrogeologie	12
3.5	Flächennutzung und mögliche anthropogene bzw. zoogene Beeinflussungen	16
<b>4</b>	<b>Methodik</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Systemanalyse</b>	<b>25</b>
5.1	Sedimentanalysen	25
5.1.1	<i>Sedimentpetrographische Ansprache</i>	26
5.1.2	<i>Siebanalysen zur Ermittlung hydraulischer Parameter</i>	27
5.1.3	<i>Karbonatanalyse</i>	30
5.1.4	<i>pH-Wert</i>	31
5.1.5	<i>Mineralogische und chemische Zusammensetzung</i>	32
5.1.6	<i>Organische Summenparameter</i>	36
5.2	Hydrochemische Analysen	38
5.2.1	<i>Meerwasser</i>	38
5.2.2	<i>Niederschlag</i>	39
5.2.3	<i>Wasser der ungesättigten Zone</i>	41
5.2.4	<i>Grundwasser</i>	42
5.2.4.1	Organoleptische Prüfungen	42
5.2.4.2	Physikalische und physikalisch-chemische Parameter	43
5.2.4.2.1	Temperatur	43
5.2.4.2.2	pH-Wert	44
5.2.4.2.3	Redoxpotential	44
5.2.4.2.4	Sauerstoffgehalt	45
5.2.4.2.5	Spezifische elektrische Leitfähigkeit	46
5.2.4.2.6	Wasserhärte, Hydrogenkarbonatgehalt	47
5.2.4.3	Wasserinhaltsstoffe	48
5.2.4.3.1	Kationen	49
5.2.4.3.2	Anionen	52
5.2.4.3.3	Stickstoffverbindungen	55
5.2.4.3.4	Organische Inhaltsstoffe	56
5.2.4.4	Isotopenuntersuchungen	61

<b>6</b>	<b>Geogene Einflussfaktoren</b>	<b>65</b>
6.1	Ionenaustauschprozesse	65
6.2	Halogenierungsprozesse	67
<b>7</b>	<b>Hydrogeochemische Klassifizierung und Bewertung der Grundwässer</b>	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>Hydrogeochemische Modellierung</b>	<b>80</b>
8.1	Grundlagen	80
8.2	Bestimmung der Anteile Süß-/Salzwasser mittels inverser Modellierung	80
8.3	Evaporation und Grundwasserneubildung	82
<b>9</b>	<b>Fazit</b>	<b>88</b>
<b>10</b>	<b>Literatur</b>	<b>91</b>

## **Anhang**

Anhang 1	Messstellen und Bohrprofile
Anhang 2	Sieblinien
Anhang 3	RDA-Analysen
Anhang 4	Hydrochemische Analysenergebnisse
Anhang 5	Ionenbilanzen
Anhang 6	Fehlerbetrachtung
Anhang 7	Analysegeräte und Chemikalien

## 1 Kurzfassung

Die wasserwirtschaftlich nutzbaren Grundwasservorkommen der Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney entstehen ausschließlich über versickernde Niederschläge. Das spezifisch leichtere Süßwasser überlagert das schwerere Salzwasser; im Untergrund der Düneninseln kommt es zur Ausbildung von Süßwasserlinsen. Diese isolierten Süßwasservorkommen reagieren aufgrund der geringen Schutzfunktion der Grundwasserdeckschichten, guter Durchlässigkeiten und geringer Flurabstände, besonders in Dünentälern, gegenüber äußeren Beeinflussungen sehr sensibel. Die Grundwasserqualität hängt im Wesentlichen von der Quantität und Qualität der Niederschläge sowie der petrographischen Beschaffenheit der Grundwasserleiterdeckschichten und Grundwasserleiter ab. Es deutet vieles darauf hin, dass die standortspezifischen geogenen Einflussfaktoren gegenüber anthropogenen Beeinträchtigungen dominieren.

Die Grundwässer der Inseln zeigen eine marine Beeinflussung. Alkalische und erdalkalische Grundwässer mit erhöhten Alkaligehalt dominieren. Kennzeichnend für die Grundwässer ist ein neutrales bis schwach alkalisches und reduzierendes Milieu. Lediglich die aus einer Tiefe zwischen 1 – 2 m unter Gelände stammenden Grundwässer zeigen eine leichte Versauerung, so dass es zur Lösung von Metallen und Schwermetallen kommen kann. Die spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten der untersuchten Wässer betragen 100 bis 1450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , es handelt sich demnach um gut mineralisierte, süße Grundwässer.

Viele der untersuchten Grundwässer fallen durch eine z.T. starke Gelbfärbung auf, hervorgerufen durch gelöste Huminstoffe. Kausale Zusammenhänge zwischen diesen, dem Gehalt an Chlorid und AOX (Adsorbierbare Organische Halogene) sowie dem hydrochemischen Milieu sind gegeben. Eine natürliche Halogenierung der Huminstoffe und somit die Bildung von AOX ist anzunehmen.

### Abstract

The useable groundwater for water management of the islands of Langeoog and Norderney (Eastern Frisia, Northwest Germany) is solely generated by influent seepage of precipitation. Salt water is overlaid by fresh water with its specific lower density - freshwater lenses are formed. These isolated fresh groundwater lenses react sensitive to outer influences caused by the absence of groundwater protecting layers, good permeability conditions and a low depth of groundwater surface, especially in dune valley areas. There are many hints that local specific geogene influences dominate the anthropogene impairments.

The groundwater of the islands shows marine influences. Alkaline groundwater with high contents of alkaline earths is dominating. It can be defined as fresh and well mineralised. The specific electric conductivity ranges between 100 up to 1450  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

The groundwater is characterized by neutral up to poor alkaline and reducing conditions. Atmospheric influenced groundwater (1-2 m under surface) shows a low scaled acidification, which causes the dissolving of metals and heavy metals. Most of the analysed groundwater samples were characterised by their yellow colour caused by dissolved humic substances. Coherences between dissolved organic carbon (DOC), content of chloride and adsorbable organic halogenes (AOX) depending on hydrochemical conditions are significant. A natural halogenation of the humic substances can be expected.

## 2 Einleitung und Zielstellung

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen waren Teil des Forschungsprojektes „Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste“ und wurden bereits z.T. im zugehörigen Ergebnisbericht (MARGGRAF & NAUMANN 2003) vorveröffentlicht. Die Projektarbeit erfolgte interdisziplinär als Zusammenarbeit zwischen Hydrogeologen, Geobotanikern, Pflanzenökologen und Sozioökonomern unterschiedlicher Universitäten. Zielsetzung des Forschungsprojektes war es, umweltverträgliche Grundlagen für ein nachhaltiges Grundwassermanagement im Spannungsfeld der unterschiedlichen Nutzungsansprüche zwischen Grundwassergewinnung, Naturschutz und Tourismus sensibler Bereiche im Nordseeküstenraum zu entwickeln. Als Untersuchungsstandorte wurden die Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney ausgewählt.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine Charakterisierung der Grundwässer der Düneninseln Langeoog und Norderney sowie die Bewertung hydrochemischer Daten in Bezug auf die Süß-Salzwasserwechselwirkungen und die küstentypische Grundwassermatrix. Die Oberflächeneinträge in das isolierte Süßwassersystem der Inseln sollen hydrochemisch analysiert und deren Einfluss auf die Grundwasserqualität betrachtet werden. Geogene und ggf. anthropogene Einflussfaktoren sind zu benennen und die Anfälligkeit des Systems darauf darzulegen.

Um die Hydrochemie eines Grundwassers bewerten und prognostizieren zu können, muss das allgemeine hydrogeologische System (Abb. 2-1) des jeweiligen Untersuchungsgebietes hinreichend bekannt sein. Im Wesentlichen hängt die Grundwasserbeschaffenheit vom durchsickerten, belebten Boden, dem durchströmten Gestein sowie von der Länge des Fließweges und der Verweilzeit im Untergrund ab (GROHMANN 2002). Im Falle der isolierten Süßwassersysteme der Ostfriesischen Inseln sind als weitere wesentliche Einflussfaktoren die Qualität und Quantität des Niederschlagswassers sowie die Beschaffenheit und räumliche Lage des unterlagernden Salzwassers zu benennen.

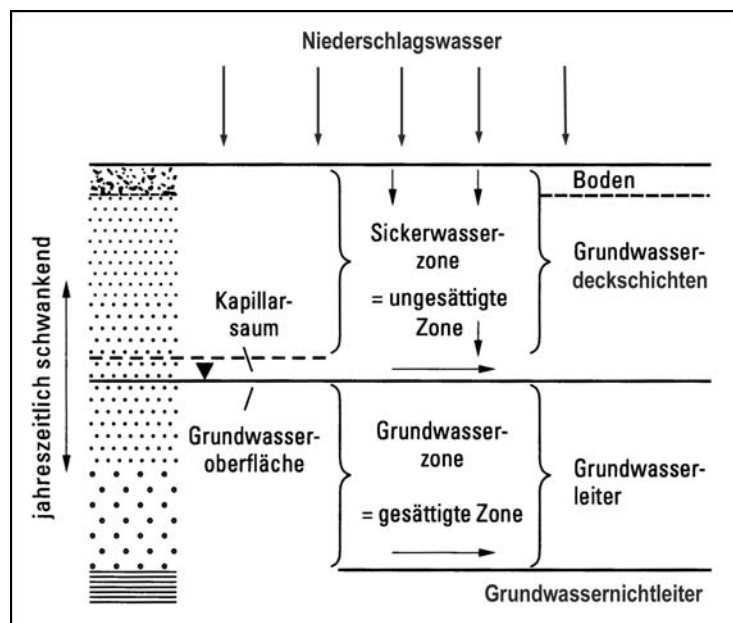


Abb. 2-1: Hydrogeologische Gliederung des Untergrundes (MATTHESS & UBELL 1983, verändert).

Um alle wesentlichen Einflussfaktoren auf das isolierte Süßwassersystem der Inseln zu erfassen, empfiehlt es sich, nach folgendem Schemata zu verfahren (Abb. 2-2). Die Strukturierung der vorliegenden Arbeit orientiert sich daher an dieser Vorgehensweise.

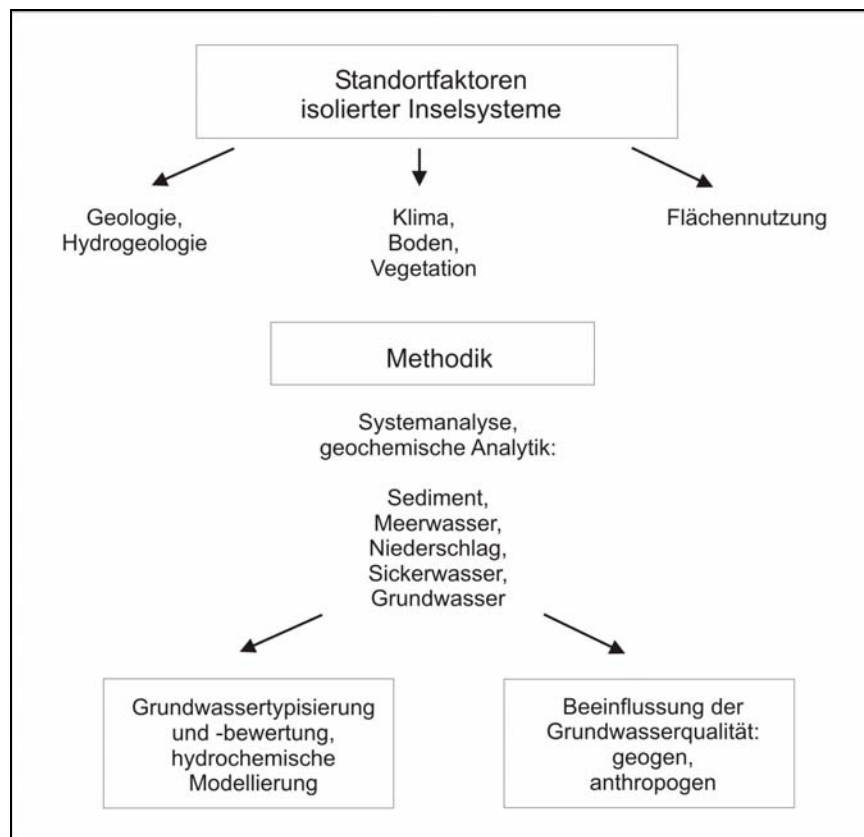


Abb. 2-2: Verfahrensweise zur Charakterisierung und Bewertung der Grundwässer sowie zur Benennung geogener und anthropogener Einflussfaktoren auf die Grundwasserqualität.

### 3 Regionale Standortfaktoren

#### 3.1 Lage und Morphologie

Untersuchungsgebiete dieser Arbeit sind die Nordseeinseln Langeoog und Norderney, die der dem niedersächsischen Festland zwischen Dollart und Jadebusen vorgelagerten Kette der Ostfriesischen Inseln angehören (Abb. 3-1). Nach STREIF (1990) gehören diese zum Landschaftselement Barriere-Inseln, welches den Nordrand des Wattenmeeres darstellt und somit über rund 90 km Erstreckung das offene Meer der Nordsee gegen das Watt abgrenzt.



Abb. 3-1: Lage der Untersuchungsgebiete Langeoog und Norderney.

Zwischen Langeoog und Norderney befindet sich die Insel Baltrum, westlich von Norderney liegt die Insel Juist, östlich von Langeoog folgt die Insel Spiekeroog. Die Entfernung vom

Festland beträgt bis Norderney zwischen ca. 7,5 km (Westkopf) und 4 km (Inselmitte), bis Langeoog ungefähr 4,8 km (Südwestkopf) und 8,2 km (Inselmitte).

Untereinander sind die Ostfriesischen Inseln durch Tiderinnen, den sogenannten Seegaten, getrennt (BARCKHAUSEN 1970). Spiekeroog und Langeoog trennt die Otzumer Balje, Langeoog und Baltrum die Accumer Ee. Norderney wird im Osten durch die Wichter Ee sowie durch das Spaniergat in Richtung Juist (Abb. 3-2) begrenzt. Verbindungen zwischen den Inseln stellen die den Seegaten meerwärts vorgelagerten Riffbögen dar (STREIF 1990).

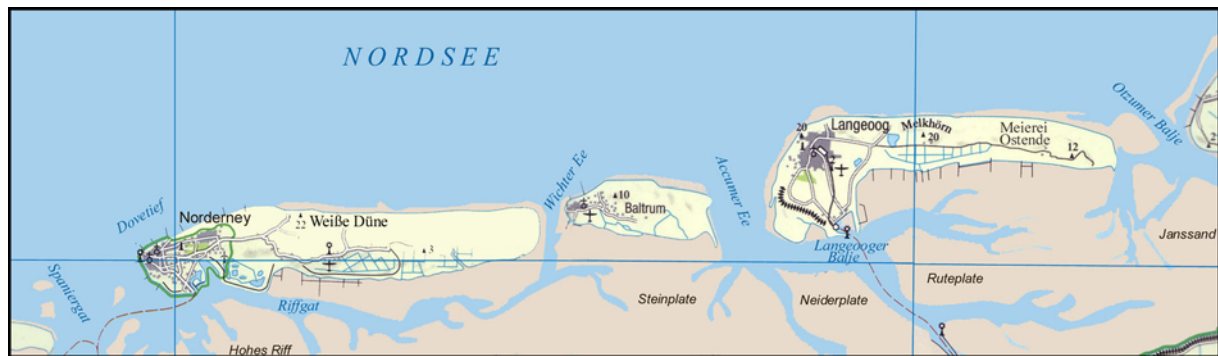


Abb. 3-2: Übersicht der Seegaten zwischen den Arbeitsgebieten Langeoog und Norderney.

Nach Norden sind die Barriere-Inseln der Brandung der Nordsee ausgesetzt und fallen relativ steil ab. Hier hat sich ein vegetationsarmer Sandstrand ausgebildet. In südliche Richtung bildet das Wattenmeer, welches über Seegaten, Baljen und Priele im Gezeitenrhythmus von Salzwasser überflutet wird und wieder trocken fällt, eine morphologische Ausgleichsfläche zum Festland. Der höher gelegene Mittelteil der Inseln wird von bewachsenen Dünen eingenommen, zwischen denen sich als Reste ehemaliger Strand- oder Flugsandflächen weite Dünentäler hinziehen können (BARCKHAUSEN 1969).

Norderney ist mit einer Länge von ca. 14 km, einer Breite von durchschnittlich 2 km und einer Fläche von 25,3 km<sup>2</sup> nach Borkum die zweitgrößte Ostfriesische Insel. Die ca. 6.500 Einwohner zählende Stadt Norderney liegt im Westen der Insel nur wenig über Meeresniveau (1 bis 5 m ü. NN) und wird durch ein massives Küstenschutzbauwerk vor den Einwirkungen des Meeres bewahrt. Die höchsten Erhebungen Norderneys, die Walter-Großmann-Düne (24,4 m ü. NN), die Weiße Düne (21,7 m ü. NN) und die Aussichtsdüne (21,1 m ü. NN), befinden sich im Hauptdünengürtel im Mittelteil der Insel.

Die Insel Langeoog verfügt über eine Fläche von ca. 19,6 km<sup>2</sup> bei einer Längserstreckung von 10,9 km. Im Westen ist die Insel ca. 3,5 km breit und verschmälert sich in Richtung Osten auf 1,3 km Breite. Langeoog ist somit die drittgrößte Ostfriesische Insel. Die Ortschaft Langeoog mit ungefähr 2.150 Einwohnern befindet sich ebenfalls im Westen der Insel. Diese ist meerseitig von einem Dünengürtel umgeben, im Süden und Westen schützen Deiche den Ort. Morphologisch gliedert sich Langeoog in ein flaches Strandareal im Norden, übergehend in einen hügeligen Dünengürtel sowie einen flachen Groden oder Heller im Süden. Der Dünengürtel erstreckt sich bogenförmig vom Südwesten bis an das Ostende der Insel. Die im Südwesten gelegenen Flinthörn- und Süderdünen erreichen Höhen bis zu 14 m ü. NN, die unmittelbar westlich an die Stadt Langeoog anschließenden Kaapdünen bis 17 m ü. NN. Die höchsten Erhebungen, die Melkhörndüne (21,3 m ü. NN), befindet sich im Zentralbereich der Insel. Diese wird durch den Großen Schlopp von den bis 21 m ü. NN hohen Heerenhusdünen



getrennt. Nördlich der Heerenhusdünen erstreckt sich das etwa 3 km lange Pirolatal (Höhe ca. 3,0 m ü. NN) in W-E- Richtung, von der Nordsee durch die nördliche Randdüne geschützt.

### 3.2 Klima und Vegetation

Die Inseln des Wattenmeerraumes gehören nach DIKEMA & WOLFF (1983) klimatisch zur boreo-atlantischen Zone und liegen zudem im Bereich des Westwindgürtels der Nordhalbkugel. Dies hat zur Folge, dass im Jahresdurchschnitt Westwinde vorherrschen, im Sommerhalbjahr überwiegend Nordwest-, im Winterhalbjahr überwiegend Südostwinde (NATIONALPARKVERWALTUNG NIEDERSÄCHSISCHES WATTENMEER 1999). Die kontinentalen Einflüsse sind zwar nur gering, trotzdem können die dominierenden Westwinde durch mehrere Tage bis Wochen andauernde Ostwindlagen verdrängt werden (SCHELLNHUBER & STERR 1993).

Die Nordsee verfügt über ein großes Wärmespeichervermögen. Dies bedingt relativ milde Winter und verhältnismäßig kühle Sommer. Das maritime, humide Klima zeichnet sich durch geringe jahreszeitliche Schwankungen der einzelnen Klimaelemente aus. Die kältesten Monate sind Januar und Februar, die wärmsten Monate Juli und August.

In engem Zusammenhang mit den Temperaturen der Luftmassen über dem Meer bzw. dem Festland steht die jährliche Niederschlagsverteilung. Zwischen März und Juli sind die Luftmassen über dem Meer meist noch kälter als über dem Land, daher regnet es vorzugsweise über dem Festland. Ab August ist das Wasser der Nordsee wärmer als die darüber liegenden Luftschichten, die Niederschläge verlagern sich Richtung Nordsee. Die höchste Niederschlagswahrscheinlichkeit ist von September bis November zu erwarten. In diesen Monaten kommt es oftmals zu wenigen, dafür starken Regenereignissen. Die Jahresniederschlagssummen sind der Tabelle 3-1 zu entnehmen.

Die Periodizität der Niederschlagsereignisse ist übertragbar auf die Sonnenscheindauer. Im Frühjahr und Sommer bilden sich relativ selten Quellwolken über den Inseln, daher scheint in dieser Zeit auch vermehrt die Sonne. Dieses Verhältnis kehrt sich in der zweiten Jahreshälfte um (PETERSEN et al. 2003).

Die Windgeschwindigkeiten sind auf den Ostfriesischen Inseln um ca. 2 Beaufort-Stärken höher als an der Küste (TEMME 1995). Im Februar dominieren aufgrund häufiger Hochdrucklagen relativ schwache Winde mit mittleren Windgeschwindigkeiten bei 4 Beaufort. In den Sommermonaten herrschen ebenfalls hauptsächlich ruhige Winde vor. Die Windstärken nehmen im Jahresverlauf bis hin zu heftigen Herbststürmen im November zu (NATIONALPARKVERWALTUNG NIEDERSÄCHSISCHES WATTENMEER 1999).

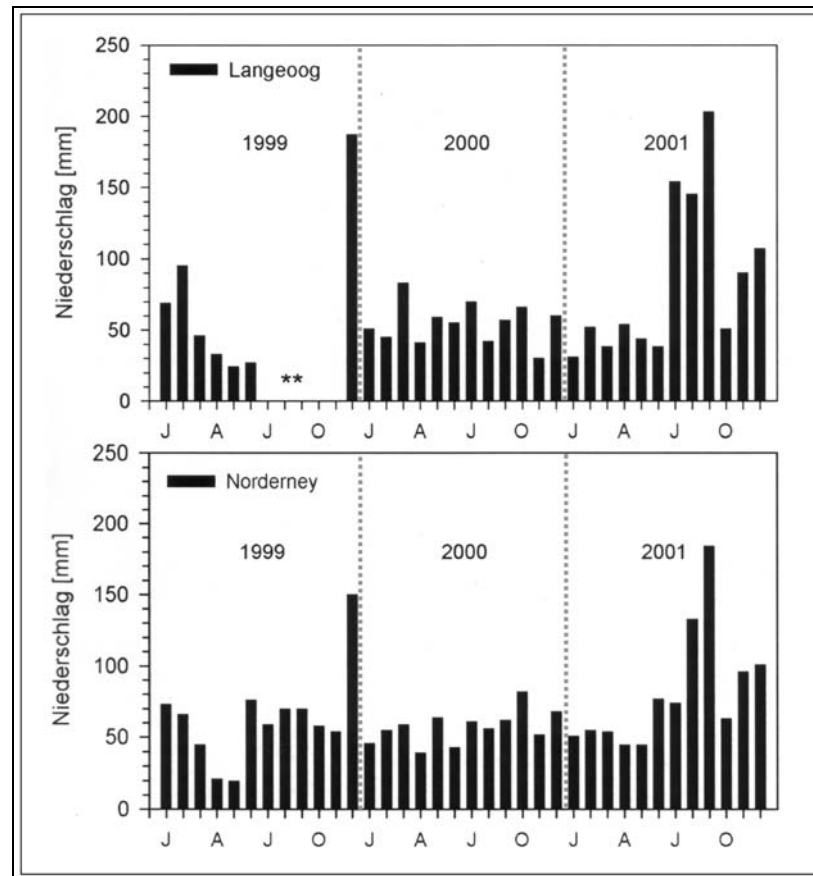
Während des Untersuchungszeitraums von 1999 bis 2001 wurden alle relevanten Wetterdaten auf der Insel Langeoog durch eine Wetterstation der Firma *Thies* erfasst. Für Charakterisierung des Klimas von Norderney standen Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) zur Verfügung.

Tab. 3-1: Jahresniederschlagssummen [mm] (PETERSEN et al. 2003).

Kalenderjahre	1999	2000	2001
Langeoog	keine Daten	657	1007
Norderney	762	687	978

Die mittlere Niederschlagsverteilung für die Jahre 1967 – 1998 konnte für Norderney aus den Daten des DWD ermittelt werden und beträgt 756 mm im Jahr. Im Vergleich zu diesem langjährigen Mittel ist 1999 als normales, 2000 als etwas trockenes und 2001 als sehr nasses Jahr zu bezeichnen (PETERSEN et al. 2003).

Bedeutend für den Standort ist dabei vor allem die Verteilung der Niederschläge über das Jahr (Abb. 3-3).



\*\* keine Messdaten

Abb. 3-3: Monatliche Niederschlagssummen [mm] auf Langeoog und Norderney von 1999 bis 2001 (PETERSEN et al. 2003).

Für die Vegetation spielen jedoch nicht nur die aufgezeigten makroklimatischen, sondern vielmehr meso- und mikroklimatische Faktoren (Relief, Höhenlage, Exposition etc.) eine Rolle.

Die Küstenvegetation der Ostfriesischen Inseln ist allgemein einteilbar in:

- Haloserie (Pflanzengesellschaften der Salzwiesen),
- Xeroserie (Pflanzengesellschaften der grundwasserfernen Dünen),
- Hygroserie (Pflanzengesellschaften der grundwasserbeeinflussten Dünentäler).

Grundwasserschwankungen durch klimatische, aber auch anthropogene Beeinflussungen (z.B. Grundwasserentnahme) wirken sich besonders auf die Vegetation der feuchten Dünentäler aus, welche nur einen standortspezifischen Toleranzbereich schadlos übersteht. Daher wurde diesen Arealen in dem dieser Arbeit zugrunde liegenden Forschungsprojekt besondere Beachtung geschenkt. Je nach Grad der Vernässung, nach Kalk- und Salzgehalt u.a. Faktoren siedeln sich in Dünentälern folgende Pflanzengesellschaften an: Kalkflachmoore, Braunseg-

gensümpfe, Röhrichte, Feuchtheiden, Weidengebüsche und Birkenwälder (PETERSEN et al. 2003).

In der vorliegenden Arbeit werden feuchte Dünentäler mit Braunseggensümpfen, Feuchtheiden (Erikaheide) und Birkenwäldchen (Kap. 4) näher betrachtet. Bei den trockeneren Standorten handelt es sich im Wesentlichen um Trockenheide (Empetrumheide).

### 3.3 Geologie

Das deutsche Nordseeküstengebiet ist eine fast ausschließlich von quartären Bildungen aufgebaute Flachküste mit einem pleistozänen Unter- und einem holozänen Oberbau (BARCKHAUSEN 1969). Das Pleistozän streicht einige Kilometer von der Küste entfernt landeinwärts, auf einigen nordfriesischen Inseln sowie weitflächig am Nordseeboden aus. Der größte Teil der oberflächlich anstehenden Sedimente des Küstengebietes wird von holozänen Ablagerungen gebildet.

Eine Übersicht der quartären Ablagerungen und ihrer Verbreitung gibt die Abbildung 3-4, die zeitliche Gliederung, die Abfolgen und Prozesse im Quartär Nordwestdeutschlands sind der Tabelle 3-2 zu entnehmen.

Das Quartär wurde in diesem Gebiet durch den Wechsel von Warm- und Kaltzeiten und den damit verbundenen eustatischen Meeresspiegelschwankungen geprägt. Während der Kaltzeiten kam es zur Regression bis hin zur Austrocknung weiter Teile des Nordseebeckens, während der Warmzeiten zu Trans- bzw. Ingression. Im Altpleistozän und frühen Mittelpleistozän herrschten überwiegend terrestrische und fluviatile Ablagerungsbedingungen vor. Eisvorstöße und deren Schmelzwässer aus Skandinavien und dem Ostseeraum kommend prägten erst im jüngeren Mittel- und im Jungpleistozän den geologischen Bau und die Landschaftsformen der Ostfriesischen Küste. Während der Elster-Kaltzeit erreichte ein erster Vorstoß des skandinavischen Inlandeises das niedersächsische Flachland. Es kam zur Ablagerung glazifluviatiler Sande, die subglaziär unter hohen hydrostatischen Druck angelegte Rinnensysteme verfüllten (SINDOWSKY 1969). In der ausgehenden Elster-Kaltzeit bildeten sich Schmelzwasserstauseen mit Stillwasserbedingungen, in denen der Lauenburger Ton als Gletschertrübe des abschmelzenden Eises akkumulierte (KUSTER & MEYER 1979). Dieser tonig-schluffige, aber auch feinsandige, oft feingeschichtete und kalkhaltige Komplex stellt einen wichtigen Leithorizont zur Gliederung des Pleistozäns dar, wurde auf den Ostfriesischen Inseln jedoch nur über Bohrungen nachgewiesen. Die fortschreitende Klimaerwärmung führte zum Anstieg des Meeresspiegels. Die Küstenlinie verlief in der Holstein-Warmzeit nördlich der heutigen Ostfriesischen Inseln. Sedimente des Holstein-Interglazials ließen sich auf Langeoog und Norderney bisher nicht nachweisen. Zu einem erneuten und letzten Eisvorstoß in den ostfriesischen Raum kam es während des älteren Drenthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit (sog. Drenthe-Hauptvorstoß). Es lagerten sich glazifluviatile Schmelzwassersande ab, die z.T. von Geschiebelehm oder –mergel überdeckt wurden. Bei jüngeren Vorstößen des Drenthe-Eises sowie im Warthe-Stadium wie auch im Eem-Interglazial blieb Ostfriesland eisfrei. Erosion trug die drenthezeitlichen Grundmoränen und die marinen Sedimente des Eem bis auf einige Relikte ab. Durch die erosive Vertiefung von Flusssystemen bildeten sich N-S-orientierte Rinnen aus, z.B. die Langeooger Rinne oder die Norderney-Hilgenrieder Rinne im Untergrund der Arbeitsgebiete (Abb. 3-5 u. Abb. 3-6). Diese Rinnen wurden in der folgenden Weichsel-Kaltzeit mit Flugsanden weitestgehend ausgefüllt.

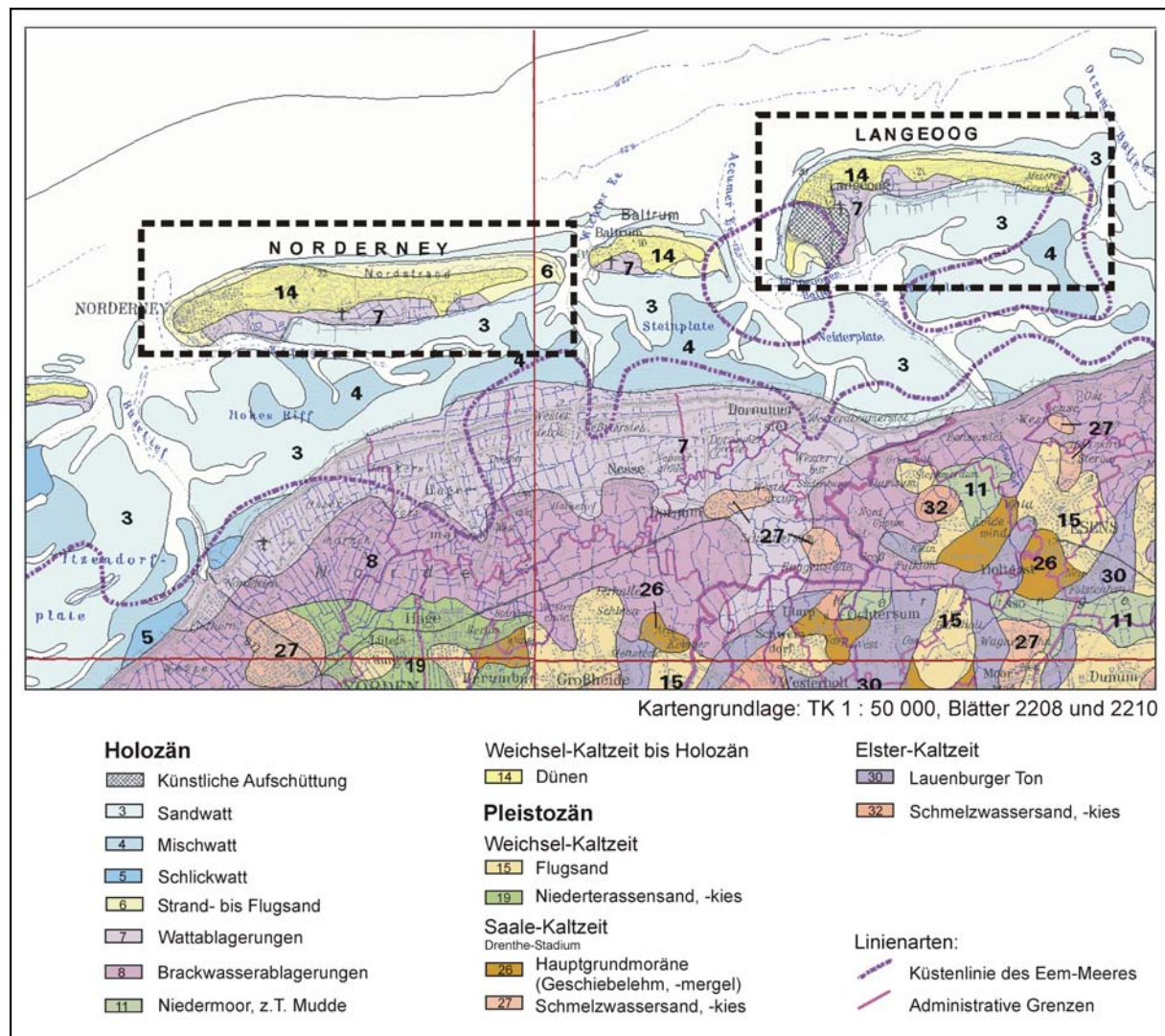


Abb. 3-4: Geologische Übersichtskarte der Arbeitsgebiete (NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM 2001).

Noch während des Weichsel-Spätglazials vor ca. 15 000 Jahren setzte eine anhaltende Klimaerwärmung ein, die zum Abschmelzen der Gletscher im Norden und damit zum Meeresspiegelanstieg führte. Der südliche Nordseeraum wurde erst im Postglazial, dem Holozän, vom ansteigenden Meer überflutet. Dabei entstand auch die heutige Küstenregion mit den Ostfriesischen Inseln, den Watten und Marschen (STREIF 1990). Die weitere geologische Entwicklung wurde dabei zum einen vom vorhandenen Relief bestimmt, zum anderen durch Tidenströmungen, Brandung und klimatische Faktoren.

Im Bereich der Ostfriesischen Inseln schwankt die Tiefenlage der Holozänbasis auf sehr kurzer Distanz aufgrund von N-S bzw. NW-SW verlaufender Eintiefungen. Diese sind zum einen auf präholozän angelegte fluviatile Rinnensysteme zurückzuführen, zum anderen schufen Tidenströmungen neue Eintiefungen. Einen Reliefausgleich bewirkte die Ablagerung holozäner mariner Watt- und Rinnensande mit basalen Torfen und Brackwassersedimenten. Die jüngsten Sedimente der Inseln stellen die äolischen Sande der Dünenzüge dar, deren Alter von den nördlichen Randdünen in Richtung Watt zunimmt.

Tab. 3-2: Altersabfolge, Ablagerungen und Prozesse im Quartär Nordwestdeutschlands und angrenzender Gebiete (nach STREIF 1990, PETERSEN et al. 2003).

Alter (Jahre)	Stratigraphie	Gliederung	Ablagerungen, Prozesse und Ablagerungsmilieu
+ 2 000	HOLOZÄN	Subatlantikum	Anstieg des Nordseespiegels: Ablagerung brackisch-mariner Sedimente; ab 7 500 J.v.h. Entstehung der Ostfriesischen Inseln, Watten u. Marschen; Moorwachstum, Flussablagerungen, Flugsande u. Dünen.
0		Subboreal	
-2 200		Atlantikum	
-5 000		Boreal	
-6 500		Präboreal	
-10 000	PLEISTOZÄN	Weichsel - Kaltzeit	Kies u. Sand, z.T. Torfeinschaltungen; zwischen 23 000 und 15 000 J.v.h. Eisvorstoß bis nahe Hamburg und in den E-Teil Schleswig-Holsteins; in Ostfriesland periglaziäre Prozesse, Fluss- und Windablagerungen.
-115 000		Eem - Interglazial	Marine Transgression: Meeres- u. Wattsedimente in der Küstenregion, Meeresspiegelhöchststand bei (heute) ca. -7 m NN; Moorwachstum, Süßwassersedimente u. Bodenbildungen auf dem Festland.
-125 000		Saale - Kaltzeit	Im Warthe-Stadium u. im jüngeren Teil des Drenthe-Stadiums liegen die Eisränder zwischen Weser und Elbe; Ostfriesland ist eisfrei, aber periglaziären Verhältnissen ausgesetzt.  Beim Drenthe-Hauptvorstoß dringt das Inlandeis über das niedersächsische Flachland bis an die Mittelgebirge vor, bedeckt Teile Nordrhein-Westfalens, der Niederlande und Nordsee.  Fluss- u. Schmelzwasserablagerungen: Kies, Sand u. Beckenton; glaziale Ablagerungen: Geschiebemergel, -lehm, Ton, Schluff u. Sand mit Findlingen.
-300 000		Holstein - Warmzeit	Marine Transgression, beim Höchststand verläuft die Küstenlinie nördl. der Ostfriesischen Inseln; tiefe Meeresbuchten reichen ins Unterweser- u. Elbegebiet sowie ins westl. Schleswig-Holstein; marine Sedimentation von Sand und Schluff in einer fördenartigen Landschaft, Süßwassersedimente im Binnenland.
-350 000		Elster - Kaltzeit	Gegen Ende der Kaltzeit setzen Schmelzwässer Ton u. Schluff als „Lauenburger Ton“ in tiefen, rinnenartigen Binnenseen ab. Beim weitesten Eisvorstoß ist Ostfriesland eisbedeckt; skandinavisches u. englisch-schottisches Inlandeis vereinigen sich in der Nordsee. Fluss- u. Schmelzwassersedimente: Sand und Kies; Eisablagerungen: Geschiebemergel, -lehm, Ton, Schluff, Sand mit Findlingen.
- 600 000		Frühes Mittel- u. Altpleistozän	Mehrfach wiederholte Wechsel zwischen kalt- u. warmzeitlichen Klimaphasen, jedoch keine Eisvorstöße nach Norddeutschland. In wärmeren Phasen Meeresvorstöße ins Nordseebecken, marine Sedimente des Cromerian, Waalian u. Tiglian. Überwiegend jedoch Fluss- und Deltaablagerungen, kiesige Sande u. Schluff, vereinzelt torfige Einschaltungen.
-2 500 000			

Die Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney zeigen aufgrund ihrer räumlichen Lage und Entwicklung einen ähnlichen geologischen Aufbau (Abb. 3-5 und 3-6).

Tertiäre Sedimente wurden lediglich in Tiefen ab -70 m NN unterhalb der Stadt Norderney erbohrt. Im Westen und Osten der Inseln sind pleistozäne Hochlagen erkennbar, bestehend aus glazifluviatilen Sanden der Saale-Kaltzeit unterlagert vom Lauenburger Komplex und Schmelzwassersanden der Elster-Kaltzeit. In die Schmelzwassersande können Tonlagen eingeschaltet sein. Der Lauenburger Komplex zeichnet sich im Raum Langeoog durch eine besonders wechselhafte Morphologie aus, bedingt durch die Überföhrung mit Inlandeis während des Drenthe-Stadiums (STREIF 1990). Die Schichtoberkante schwankt auf engem Raum zwischen -6 und -27 m NN.

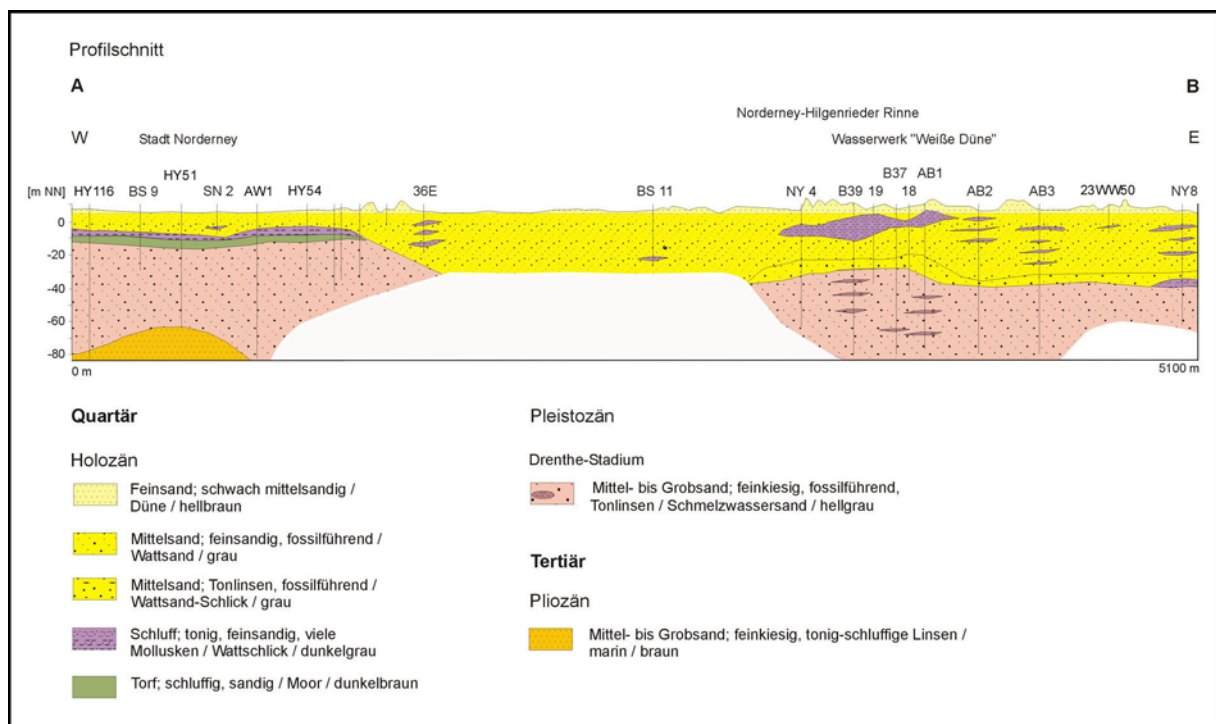


Abb. 3-5: Geologisches Profil von Norderney (Lage des Profils Kap. 2.3) (nach MÜLLER & WOLFF 1998, PETERSEN et al. 2003).

Beide Inseln sind durch eiszeitlich angelegte Rinnensysteme, die im Mittelteil der Inseln in N-S-Richtung streichen, gekennzeichnet (Langeooger Rinne, Norderney-Hilgenrieder Rinne). Diese sind durch bis ca. 30 m mächtige holozäne Watt- und Rinnensande mit eingeschalteten Brackwassersedimenten verfüllt. Es treten häufig torfige oder humose Einlagerungen als linsenförmige Relikte ertrunkener Landoberflächen auf. Die Schichtenfolge geht auf Langeoog in geringmächtige, jedoch über mehrere Quadratkilometer beständige marin-litorale Ablagerungen über, den Watt und Grodenschichten. Auf Norderney konnten diese nicht nachgewiesen werden. Abgeschlossen wird das Profil beider Inseln durch die jüngsten Bildungen, den weitgehend fossilfreien, feinsandigen Dünen. Auf Langeoog sind in diese äolischen Sande organische Horizonte, sog. Moorerdebänke, eingeschaltet, die sich in feuchten Dünentälern bildeten (STREIF 1990).



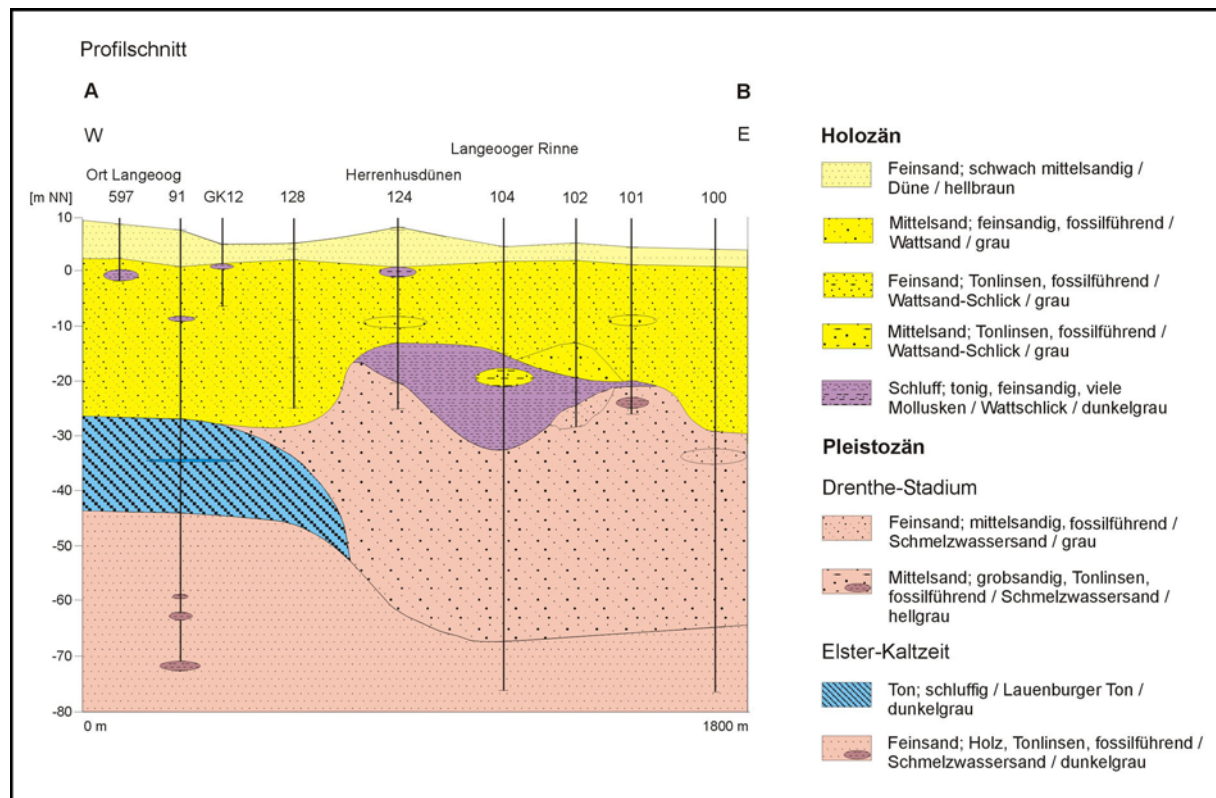


Abb. 3-6: Geologisches Profil Langeoog (Lage des Profils Kap. 2.3) (PETERSEN et al. 2003).

### 3.4 Hydrogeologie

Die Grundwasservorkommen der Ostfriesischen Inseln werden zum Einen durch die Versickerung von Niederschlägen, zum Anderen durch Infiltration von Salzwasser über den Inselsockel gespeist. Bedingt durch die geringere spezifische Dichte überlagert das meteorische Wasser das schwerere Salzwasser, es kommt zur Ausbildung von sogenannten Süßwasserlinsen (Abb. 3-7).

Die Ausdehnung und Form dieser Linsen hängen im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab (NATIONALPARKVERWALTUNG NIEDERSÄCHSISCHES WATTENMEER 1999):

- Form und Ausdehnung der Insel,
- Aufbau des Grundwasserleiters,
- Durchlässigkeit des Inseluntergrundes,
- Tidebewegung,
- Niederschlagsmenge und Verdunstungsrate,
- Position, Ausdehnung und Alter der Dünen,
- Vegetationsbedeckung,
- Dispersion in lateraler Dichte,
- hydrochemische Diffusion durch Dichteunterschiede zwischen Salz- und Süßwasser,
- Grundwasserentnahme,
- Salzwasserintrusionen durch Sturmfluten.

Unter Dünenarealen sind die Süßwasservorkommen meist besonders mächtig.

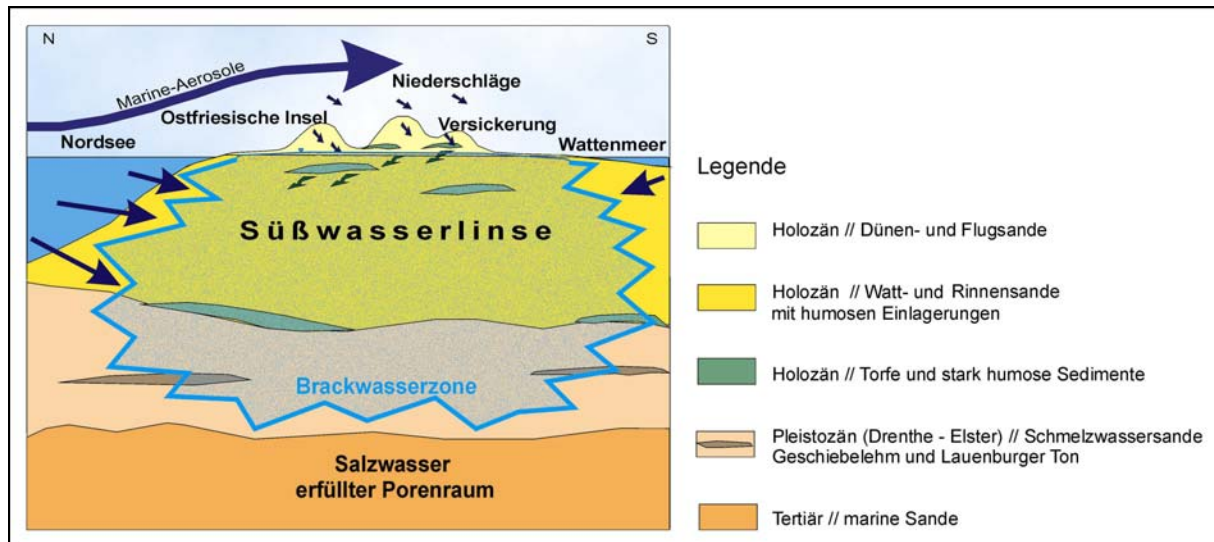


Abb. 3-7: Schematische Darstellung der besonderen Standortfaktoren einer Süßwasserlinse (MARGGRAF & NAUMANN 2001).

Die Bezeichnung Süßwasserlinse lässt sich von der annähernd parabolischen Form der Grenzflächen zwischen Süß- und Salzwasser sowie der Grundwasseroberfläche ableiten. Die Süß-/Salzwassergrenze wird durch eine Brackwasserzone ausgebildet. Die Mächtigkeit dieser Brackwasserzone ist durch Porenvolumen und Porenform des Grundwasserleiters sowie durch Wasserspiegelschwankungen und den Abfluss gekennzeichnet (RODDA 1976). Eine Absenkung der Grundwasserspiegelhöhe bewirkt eine Verbreiterung der Brackwasserzone durch Erhöhung des dispersiven Anteils. Die Mächtigkeit der Brackwasserzone kann dabei zwischen ca. 0,5 m und ca. 1 - 2 m schwanken (JACKSON 1980). Grundwasserbewegungen innerhalb der Süßwasserlinse sind in Richtung Süß-/Salzwassergrenze gerichtet, es wird gleichzeitig Brackwasser der Grenzfläche abgeführt, während Meerwasser nachströmt (Abb. 3-8). Dieser durch molekulare Diffusion und hydromechanische Dispersion gesteuerte Prozess wird Nomitsu-Strömung genannt (COOPER 1959). Wenn die einsickernde Niederschlagsmenge der abströmenden Wassermenge entspricht, stellt sich ein Gleichgewicht ein (GERHARDY et al. 1976).

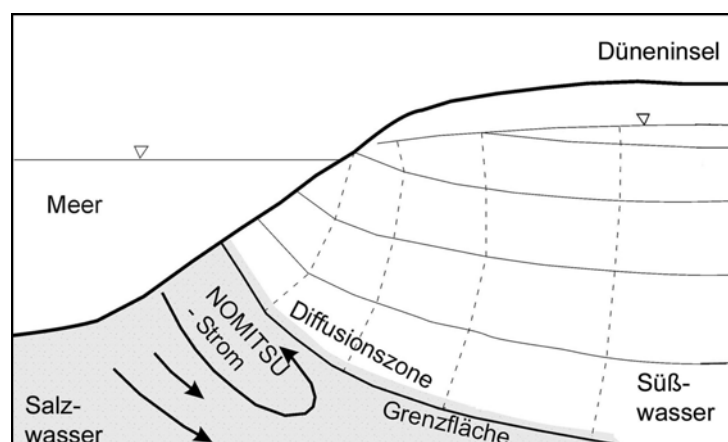


Abb. 3-8: Schema der Süß-/Salzwassergrenze (MATTHESS & UBELL 1983, verändert).



Nur ein Teil des Niederschlages (N) trägt zur Grundwasserneubildung bei, abhängig von der Höhe des Niederschlags, der Vegetation, der Evapotranspiration, dem Grundwasserflurabstand sowie der Sickerwassergeschwindigkeit in der ungesättigten Zone (DYCK & PESCHKE 1995). Die Grundwasserneubildungshöhe (G) kann nach verschiedenen Verfahren berechnet werden. In MARGGRAF & NAUMANN (2003) wurden dabei beispielhaft für die Insel Langeoog die Verfahren nach RENGGER & WESSOLEK (1990), nach WENDLING & MÜLLER (1984) und GROSSMANN (1997) angewendet und liefern differenzierte Grundwasserneubildungshöhen (Tab. 3-3).

Tab. 3-3: Grundwasserneubildung auf Langeoog (nach MARGGRAF & NAUMANN 2003 und \* NAUMANN 2004).

Langeoog				
	2000 (N = 657 mm/a)		2001 (N = 1007 mm/a)	
Berechnung nach:	G [mm/a]	Anteil von N [%]	G [mm/a]	Anteil von N [%]
RENGER & WESSOLEK	175	26,6	-	-
WENDLING & MÜLLER	131	19,9	422	41,9
GROSSMANN	263 *	40,1 *	786	78,1

Die Grundwasserstände variieren auf den Ostfriesischen Inseln in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge, der Wasserentnahme und aufgrund von Meeresspiegelschwankungen. Bei Hochwasser wird die Süßwasserlinse zusammengedrängt, die Grundwasserstände steigen. Bei Niedrigwasser findet eine Entlastung der Linse statt und es kommt zu einer Abnahme der Grundwasserstände. Diese Gezeitenwirkung kann durch Windeinfluss noch verstärkt werden. Generell betragen die Flurabstände unter Dünenarealen, abhängig von der Höhe und Form der Dünen, mehrere Meter bis hin zu < 1 m in Dünentälern.

Eine Übersicht über Form und Ausdehnung der Süßwasserlinsen vermitteln u.a. geoelektrische Untersuchungen. Eine solche Untersuchung wurde 1970 auf Langeoog durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Süßwasserlinse der Insel in drei Segmente aufgeteilt ist (Abb. 3-9). Dies ist auf einen Durchbruch der Insel während der Weihnachtsflut 1717 zurückzuführen. Die eingeebneten Dünenareale des Großen und Kleinen Schlopps werden auch heute noch regelmäßig von der Wattseite her mit Salzwasser überflutet, so dass sich in diesen Bereichen kein neues Süßwasservorkommen bilden konnte. Die Süßwasserlinse westlich der Schlopps reicht unterhalb der Dünengebiete in Tiefen bis –30 m NN (RÜLKE 1968) bzw. nach neueren Erkenntnissen –25 m NN (OTTEMÖLLER & VON DEN STEINEN 1996). Zum Inselrand hin nimmt die Mächtigkeit der Süßwasserlinse ab.

Im Westteil Langeoogs werden die Süßwasservorkommen wasserwirtschaftlich genutzt, die beiden östlichen Süßwasserlinsen sind anthropogen weitgehend unbeeinflusst. Die Heerenhusdünen und das Pirolatal gehören zum Wassereinzugsgebiet des Wasserwerkes Langeoog Ost, die Kaapdünen zum Wasserwerk West. Insgesamt umfassen die Einzugsgebiete der beiden Wasserwerke ca. 1,8 km<sup>2</sup> (PENNING 2000). Von dem sich jährlich neubildenden Grundwasser in Höhe von 379 mm/a werden durch die Wasserförderung 356.117 m<sup>3</sup>/a (Stand: 2000 und 2001) genutzt (NAUMANN 2004).

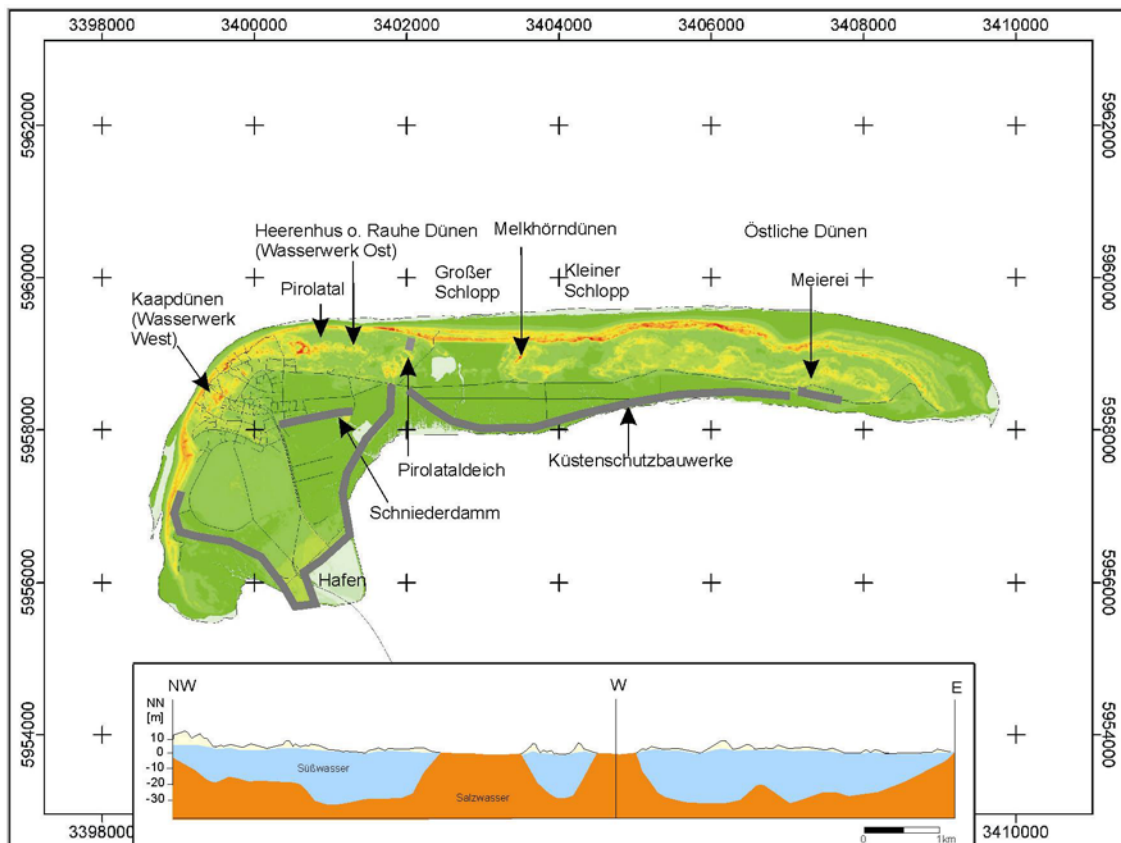


Abb. 3-9: Süßwasserlinsen Langeoog (nach STREIF 1990, aus PETERSEN et al. 2003).

Im Gegensatz zu Langeoog verfügt das flächenmäßig größere Norderney mit seinen ausgedehnten Dünenarealen und aufwendigen Küstenschutzmaßnahmen über eine zusammenhängende, mächtigere Süßwasserlinse, die im Zentralteil der Insel, im Bereich der Norderney-Hilgenrieder-Rinne, bis in - 85 m NN Tiefe reichen kann (Abb. 3-10). Hier befindet sich auch das Wasserwerk II „Weiße Düne“, das zusammen mit dem Wasserwerk I „Ort“ über ein Wassereinzugsgebiet von ca. 5,5 km<sup>2</sup> verfügt (MÜLLER & WOLFF 1998). Im langjährigen Mittel 1990 bis 2001 beträgt die Grundwasserneubildung auf Norderney 355 mm/a, die durchschnittliche Fördermenge während dieses Zeitraumes liegt bei 949.000 m<sup>3</sup>/a (NAUMANN 2004).

Auch auf Norderney nimmt die Mächtigkeit der Süßwasserlinse zu den Inselrändern hin langsam ab. Im Bereich des Flugplatzes und westlich des Wasserwerks Weiße Düne ist die Linse noch 60 m mächtig, bis in den Südstrandpolder hinein konnten Mächtigkeiten > 70 m nachgewiesen werden. Episodische Überflutungen führen dagegen im Düental südlich der Gaststätte Oase zu brackigem Grundwasser. Sondierungen nördlich der Randdünen ergaben eine Überschichtung der Süßwasserlinse durch Salzwasser im Überflutungsbereich des Nordseestrandes.

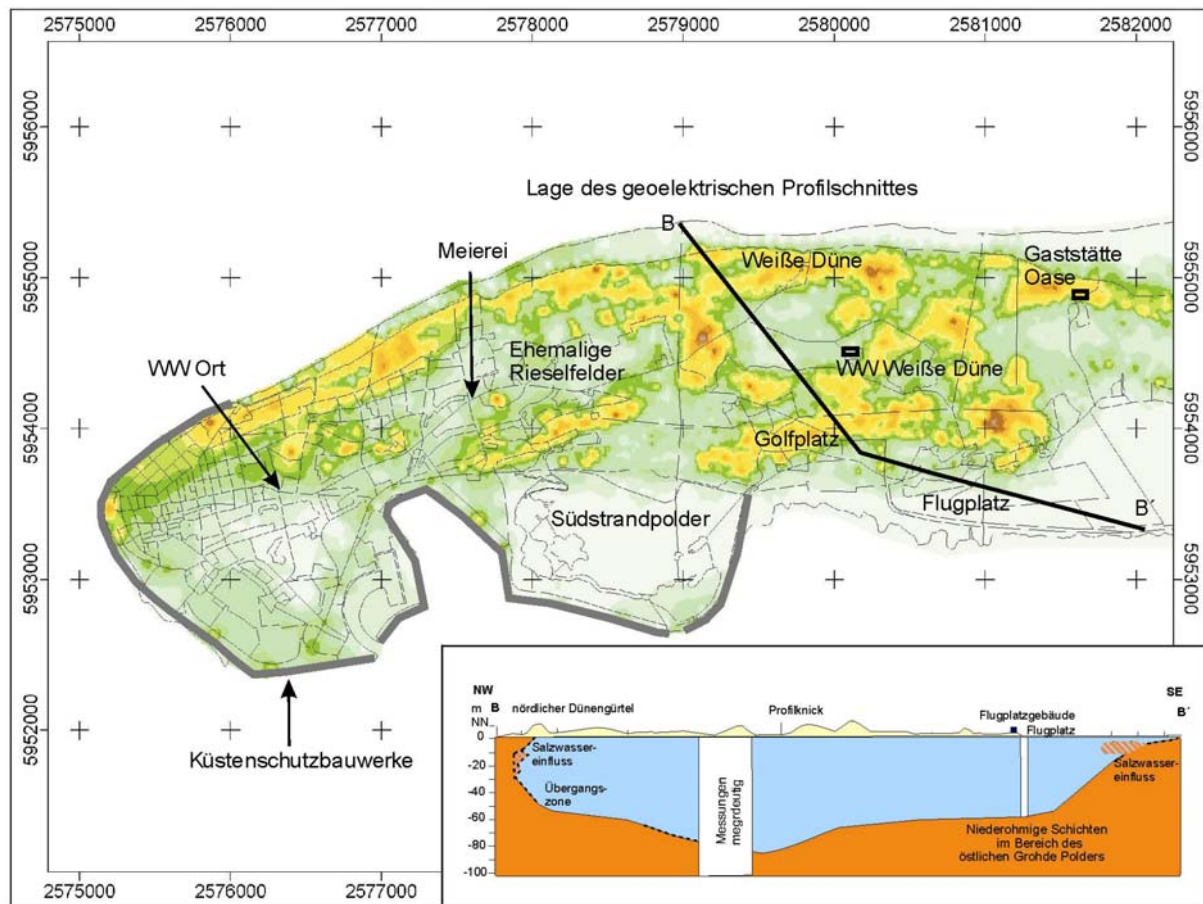


Abb. 3-9: Süßwasserlinse Norderney (nach MÜLLER & WOLFF 1998, aus PETERSEN et al. 2003).

Die Grundwasserleiter der Inseln Langeoog und Norderney bestehen aus Lockersedimenten, im Wesentlichen aus gut wasserdurchlässigen Sanden (Kap. 5). Es überwiegen ungespannte Grundwasserspiegel. Lediglich lokal kommt es durch Einschaltung weniger gut wasserdurchlässiger Schichten zu einer partiellen Stockwerksbildung. Im unteren Bereich des Grundwasserleiters herrschen dann gespannte Verhältnisse vor. Aufgrund der guten Durchlässigkeiten der Sande sind die Sickerwassergeschwindigkeiten mit gemittelt 0,5 m/h sehr hoch (NAUMANN 2004), infiltrierende Oberflächenwässer und Niederschläge gelangen sehr schnell in das Grundwasser. Die Abstandsgeschwindigkeiten im Grundwasser werden ebenfalls von der guten Durchlässigkeit der Sedimente bestimmt. Nach NAUMANN (2004) betragen die lateralen Abstandsgeschwindigkeiten in von der Grundwasserförderung unbeeinflussten Bereichen auf Langeoog zwischen 0,3 und 0,8 m/d sowie auf Norderney zwischen 0,1 und 0,5 m/d. In Brunnennähe können diese auf laterale Abstandsgeschwindigkeiten von deutlich >1 m/d ansteigen.

### 3.5 Flächennutzung und mögliche anthropogene bzw. zoogene Beeinflussungen

Wie bereits die unterschiedliche Besiedlungs- und Besucherichte der beiden Inseln Langeoog (ca. 2.150 Einwohner, 182.015 Anreisen im Jahr 2001) und Norderney (ca. 6.500 Einwohner, 304.192 Anreisen im Jahr 2001) vermuten lässt, gibt es deutliche Unterschiede in der Flächennutzung, aber auch Gemeinsamkeiten. So werden beide Untersuchungsgebiete als staatlich anerkannte Nordseeheilbäder vorwiegend touristisch genutzt, intensive Landwirt-



schaft (Ackerbau, Nutztviehhaltung) und Industrie fehlen. Eine Ausnahme stellt die kleinräumige Nutzung von feuchten bis frischen Wiesenarealen als Pferdeweiden oder Mähwiesen dar. Die Inseln gehören zum 1986 gegründeten Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer, der sich vom Dollart im Westen bis Cuxhaven im Osten einschließlich der vorgelagerten Inseln, Platen und Sandbänke erstreckt. Dieser gliedert sich in 3 Schutzzonen, die auch auf den Inseln vertreten sind (Abb. 3-10). Die Erholungszone steht dem Erholungs- und Kurbetrieb uneingeschränkt zur Verfügung. In der Zwischenzone darf auch außerhalb der Wege gewandert werden. Allerdings sind alle Handlungen untersagt, die den Charakter des Wattenmeeres und der Insel verändern oder die natürlichen Verhältnisse beeinträchtigen. In der Ruhezone gelten die strengsten Schutzbestimmungen, da sich hier die ökologisch empfindlichsten Landschaften und Biotope befinden. Betreten und Befahren dieser Zone ist abseits ausgewiesener Pfade nicht erlaubt. Nach PETERSEN et al. (2003) sind die durch den Tourismus verursachten negativen Auswirkungen auf Natur und Umwelt auf beiden Inseln jedoch relativ begrenzt.

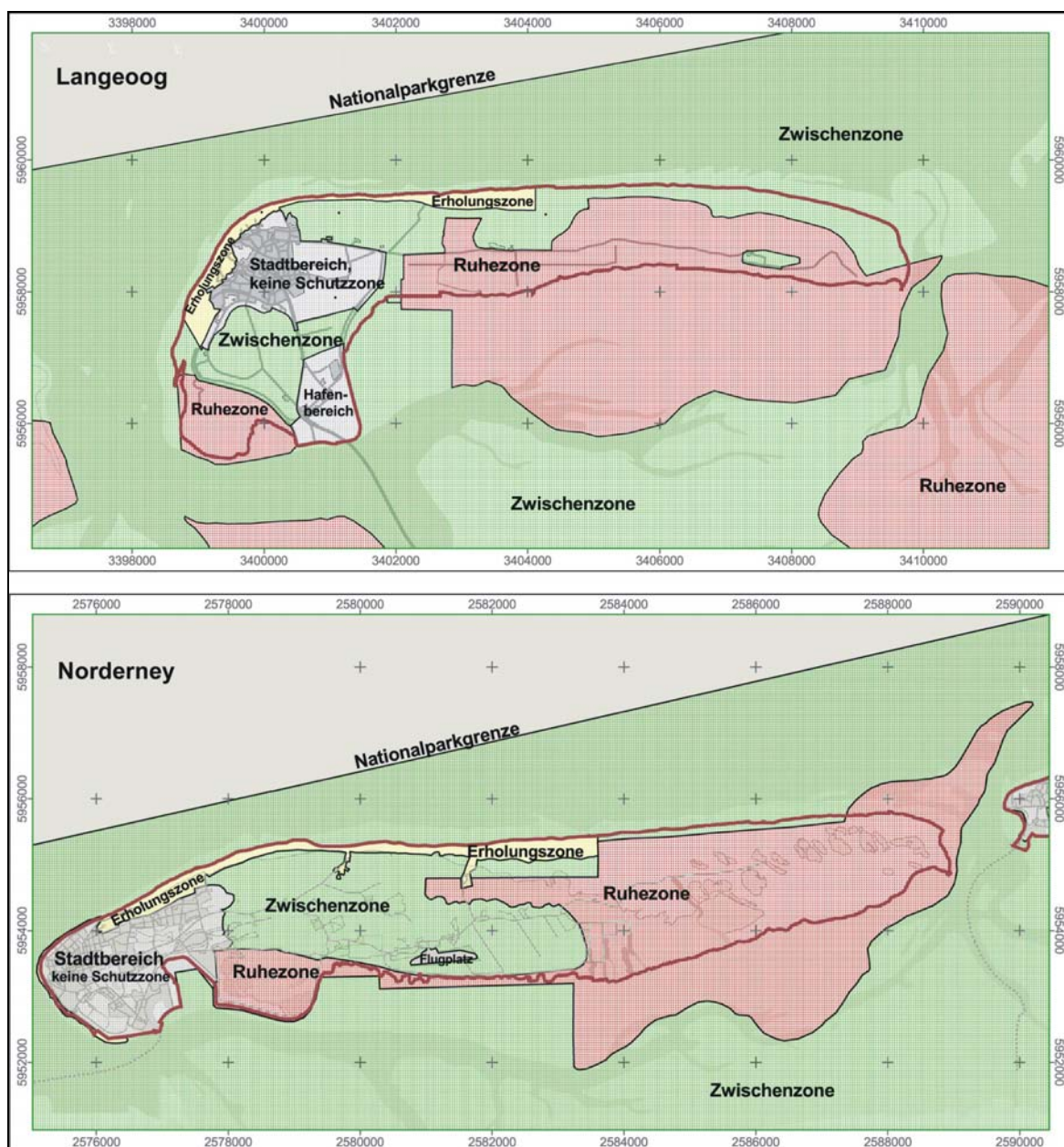


Abb. 3-10: Lage der unterschiedlichen Schutz-zonen des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer auf Langeoog und Norderney (aus PETERSEN et al. 2003).

Die Ortschaften Langeoog und Norderney liegen beide im Westen der jeweiligen Inseln und unterscheiden sich deutlich in der Größe und der Intensität der Bebauung. Der vergleichsweise kleine Ort Langeoog ist locker bebaut mit Einfamilienhäusern, Bungalows, kleinen Hotels und Pensionen, gepflasterten engen Straßen und Wegen sowie zahlreichen Gärten und Grünflächen. Nach BÄKER (2000) ist die Fläche des Ortsbereichs verteilt auf 55 % Grünflächen und 45 % versiegelte Flächen (Straßen, Häuser mit Dachflächen). Eine Inselbahn verbindet das Zentrum der Ortschaft Langeoog mit dem wenig bebauten Hafen im Südwesten der Insel. Die Insel Langeoog ist autofrei (Ausnahme: Elektrofahrzeuge), der weitere Personenverkehr erfolgt dementsprechend zu Fuß, mit dem Fahrrad (25 km langes Radwegenetz) oder Pferd (Reiten, Kutschfahrten). Innerhalb der Ortschaft und in unmittelbarer Umgebung befinden sich ein Dünenfriedhof, ein Meerwasser-Freizeit- und Erlebnisbad, Kinderspielflächen, ein Tennisplatz, eine Minigolfanlage, eine Schießanlage, ein Flugplatz, ein naturbelassener 6-Loch-Golfplatz (nordöstlich des Flugplatzes) sowie ein kleines Inselwäldchen. Östlich des Großen Schlopps, also deutlich außerhalb der Ortschaft Langeoog, darf in unmittelbarer Nähe zu einer Jugendherberge gezeltet werden. Weiter östlich befindet sich die gastronomisch genutzte Meierei Ostende (vgl. Abb. 4-1). Als Küstenschutzmaßnahmen fungieren die Dünenketten im Norden und Westen der Insel als natürlicher Schutzwall vor Sturmfluten sowie Deich- bzw. Dammaufschüttungen im Süden (vgl. Abb. 3-8).

Norderney ist deutlich stärker bebaut und intensiv infrastrukturell erschlossen. Das Straßennetz der Insel ist dem zugelassenen Auto- und Busverkehr angepasst. Der Ort Norderney verfügt seit 1948 über das Stadtrecht. Entsprechend der intensiveren Nutzung als Kur- und Gästebetrieb (u.a. Spielkasino, historische Kurhotels, ausgedehnte Einkaufsstrassen) ist die Flächenversiegelung in der Stadt Norderney im Vergleich zu Langeoog relativ hoch. Nach BÄKER (2000) verteilen sich die Flächen des gesamten Ortsbereichs auf 16 % Grünflächen (Parks, Vorgärten, Kiefernwäldchen), 1 % Wasserflächen und 83 % versiegelte Flächen. Der Personenverkehr erfolgt auch auf Norderney zu Fuß, mit dem Fahrrad (80 km langes Rad- und Wanderwegenetz), Pferd oder zusätzlich mit Auto und Bus. Für Ausritte können zahlreiche ungepflasterte Reitwege abseits der Straßen, Wander- und Radwege genutzt werden. Die Insel verfügt über einen 9-Loch-Golfplatz, drei Minigolfanlagen, ein Wellenschwimmbad (Erlebnis- und Freizeitbad), eine Schießsportanlage, einen Flugplatz, zwei Campingplätze, einen Inselfriedhof und einen Tierfriedhof, Kleingartenanlagen, einen Sportplatz, Kinderspielflächen, zahlreiche Autoparkplätze (nur teilweise gepflastert) sowie eine Tankstelle in Hafennähe. Erwähnenswert sind des Weiteren die östlich der Meierei gelegenen ehemaligen Rieselfelder (Abb. 3-9). Hier wurde seit 1888 auf einer Fläche von 14,5 Hektar Abwasser verrieselt. Diese Fläche wurde bis 1956 auf 43 Hektar ausgedehnt. Mit der Fertigstellung des Klärwerks im Jahr 1971 endete die Verrieselung von Abwasser.

Auch die Insel Norderney betreibt intensiv Küstenschutz. Als Küstenschutzmaßnahme umgibt ein betoniertes Inseldeckwerk mit Promenade die Stadt Norderney, welches am Nordstrand seit 2001 weiter ausgebaut wird. Weiteren Schutz vor Überflutungen bieten die Dünenzüge der Insel sowie Deichbauten im Süden (vgl. Abb. 3-9).

**Anthropogene und zoogene Beeinflussungen** sind in den Untersuchungsgebieten nur in geringem Umfang zu erwarten und wie bereits aus den obigen Ausführungen ersichtlich, vermutlich durch die touristische Nutzung der Inseln bedingt. Abgesehen davon, dass fehlendes Umweltbewusstsein von Touristen und Einwohnern zu maßgeblichen anthropogenen Beeinträchtigungen führen kann, wird der Eintrag von Tierfäkalien in das Grundwasser (möglich: Pferde- und Hundekot) wesentlich sein. Dieser Eintrag erfolgt dann vor allem entlang von Wegen bzw. Straßen und Weiden. Norderney verfügt über eine hohe Kaninchenpopulation, die außerdem regelmäßig Seuchen, verbunden mit entsprechenden

Mengen an Tierkadavern, unterlegen ist. Die Hasenpopulation von Langeoog zeichnet sich dagegen durch eine geringe Besiedlungsdichte aus. Beide Inseln sind Brutgebiet und Rastplatz für zahlreiche Vögel. Hierdurch kommt es partiell, besonders in den Vogelkolonien, zu erhöhten Stickstoffeinträgen. Eine anthropogene Beeinflussung des Grundwassers kann durch Traufwässer oder die Verrieselung von Abwässern erfolgen bzw. erfolgt sein. Düngung oder gar der Einsatz von Herbiziden, Pestiziden u.a. (möglich: Golfplätze, Gärten, Parkplätze) schädigen die Grundwasserqualität der sensiblen Systeme nachhaltig. Friedhöfe und Baumaterialien (möglich: abgelagerter Bauschutt, Bauruinen) beeinträchtigen ebenfalls die Güte des Grundwassers.

## 4 Methodik

Die für diese Arbeit benötigte Datenbasis wurde über ein angepasstes Monitoringsystem gewonnen, ergänzt durch Literaturrecherchen und von den Wasserwerksbetreibern zur Verfügung gestelltes Datenmaterial. In das interdisziplinär konzipierte Monitoringprogramm konnte das bereits vorhandene Messstellennetz auf den Inseln Langeoog und Norderney integriert und aufgabenspezifisch erweitert werden. Um die ökosystemaren Beziehungen zwischen Vegetation, Nährstoffgehalt, Bodenfeuchte und Grundwasser zu erfassen, wurden insgesamt 54 Dauerbeobachtungsflächen (DF) ausgestattet mit flachen Grundwassermessstellen in beiden Untersuchungsgebieten errichtet. Sowohl auf Langeoog als auch auf Norderney dienten jeweils fünf dieser Messstellen (Tab. 4-1 und 4-2) der Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit. Des Weiteren erfolgte eine Auswahl von Grundwassermessstellen aus den hydrologischen Messnetzen der Wasserwerksbetreiber (Tab. 4-3 und 4-4). Diese Vorfeldmessstellen (VM) bestehen z.T. aus zwei bis drei Peilrohren, die in unterschiedlichen Tiefen verfiltert sind, so dass Aussagen zur tiefenspezifischen Veränderung der Grundwasserchemie getroffen werden konnten. Um eventuelle jahreszeitliche Veränderungen erfassen zu können, fand die Beprobung der Grundwässer jeweils vierteljährlich über einen Zeitraum von Dezember 1999 bis August 2001 statt. Zusätzlich wurden sporadisch Meerwasser- und Niederschlagsproben entnommen sowie Sickerwasserproben an DF L4 aus einer Tiefe von 0,60 m u. GOK.

Einen Überblick der Lage der ausgewählten Grundwassermessstellen vermitteln die Abb. 4-1 und 4-2.

Tab. 4-1: Koordinaten und Filtertiefen der ausgewählten Messstellen an den DF auf Langeoog.

Langeoog						
DF	Rechtswert	Hochwert	Filtertiefe unter ROK [m]	Filtertiefe unter GOK [m]	Filtertiefe NN [m]	Vegetation
L4	2599287,14	5958644,70	1,00 bis 2,00	0,78 bis 1,78	1,28 bis 0,28	Erikaheide
L9	2599525,55	5958769,70	1,00 bis 2,00	0,55 bis 1,55	1,45 bis 0,45	Erikaheide
L13	2598947,53	5958743,56	1,00 bis 2,00	0,89 bis 1,89	1,89 bis 0,89	Birkenwäldchen
L19	2604818,26	5959149,53	1,00 bis 2,00	0,52 bis 1,52	1,53 bis 0,53	Braunseggensumpf
L22	2599622,55	5959091,88	1,00 bis 2,00	0,79 bis 1,79	1,05 bis 0,05	Empetrumheide

Tab. 4-2: Koordinaten und Filtertiefen der ausgewählten Messstellen an den DF auf Norderney.

Norderney						
DF	Rechtswert	Hochwert	Filtertiefe unter ROK [m]	Filtertiefe unter GOK [m]	Filtertiefe NN [m]	Vegetation
N3	2578279,55	5953699,52	1,00 bis 2,00	0,84 bis 1,84	0,93 bis -0,07	Erikaheide
N7	2578916,93	5953793,38	1,00 bis 2,00	0,75 bis 1,75	1,72 bis 0,72	Braunseggensumpf
N9	2580004,79	5954514,45	1,00 bis 2,00	0,71 bis 1,71	1,64 bis 0,64	Erikaheide
N17	2580590,99	5954330,46	1,00 bis 2,00	0,81 bis 1,81	1,67 bis 0,67	Braunseggensumpf
N18	2581447,00	5954639,00	1,00 bis 2,00	0,63 bis 1,63	1,81 bis 0,81	Birkenwäldchen

Tab. 4-3: Koordinaten und Filtertiefen der ausgewählten Vorfeldmessstellen auf Langeoog.

Langeoog					
VM	Rechtswert	Hochwert	Filtertiefe unter GOK [m]	Höhe GOK [m] NN	Filtertiefe NN [m]
100	2599376,24	5959053,72	21,00 bis 23,00	3,04	-17,96 bis -19,96
102	2598862,85	5959115,91	18,00 bis 22,00	3,99	-14,01 bis -18,01
106o	2598630,99	5959242,39	10,50 bis 11,50	2,94	-7,56 bis -8,56
106m	2598630,99	5959242,39	14,50 bis 15,50	2,94	-11,56 bis -12,56
106u	2598630,99	5959242,39	18,50 bis 19,50	2,94	-15,56 bis -16,56
123o	2598169,86	5959172,35	18,00 bis 20,00	8,84	-9,16 bis -11,16
123m	2598169,86	5959172,35	26,00 bis 28,00	8,84	-17,16 bis -19,16
123u	2598169,86	5959172,35	39,00 bis 41,00	8,84	-30,16 bis -32,16
127o	2598263,37	5958727,56	9,00 bis 10,00	3,03	-5,97 bis -6,97
127m	2598263,37	5958727,56	13,00 bis 15,00	3,03	-9,97 bis -11,97
127u	2598263,37	5958727,56	21,00 bis 23,00	3,03	-17,97 bis -19,97
128o	2597928,49	5958893,78	12,00 bis 14,00	4,81	-7,19 bis -9,19
128m	2597928,49	5958893,78	16,00 bis 18,00	4,81	-11,19 bis -13,19
128u	2597928,49	5958893,78	23,00 bis 25,00	4,81	-18,19 bis -20,19
129	2598621,48	5958830,68	12,00 bis 18,00	3,49	-8,51 bis -14,51
130o	2599522,20	5958839,40	7,00 bis 24,00	2,61	-4,39 bis -21,39
130u	2599522,20	5958839,40	31,50 bis 46,50	2,61	-28,89 bis -43,89

Tab. 4-4: Koordinaten und Filtertiefen der ausgewählten Vorfeldmessstellen auf Norderney.

Norderney					
VM	Rechtswert	Hochwert	Filtertiefe unter GOK [m]	Höhe GOK NN [m]	Filtertiefe NN [m]
NY2	2580508,18	5953685,56	7,00 bis 9,00	3,06	-3,94 bis -5,94
NY4/1	2579401,88	5954179,92	7,00 bis 9,00	2,90	-4,10 bis -6,10
NY4/2	2579399,82	5954179,10	65,00 bis 80,00	2,85	-62,15 bis -77,15
NY6/1	2579465,21	5953664,37	7,00 bis 9,00	3,47	-3,53 bis -5,53
NY6/2	2579463,21	5953664,56	46,00 bis 48,00	3,53	-42,47 bis -44,47
NY7/1	2579441,65	5954771,23	7,00 bis 9,00	2,84	-4,16 bis -6,16
NY7/2	2579443,51	5954769,85	46,00 bis 48,00	2,80	-43,20 bis -45,20
NY8/1	2581555,55	5954442,16	7,00 bis 9,00	2,53	-4,47 bis -6,47
NY8/2	2581554,88	5954440,50	49,00 bis 59,00	2,44	-46,56 bis -56,56



VM	Rechtswert	Hochwert	Filtertiefe unter GOK [m]	Höhe GOK NN [m]	Filtertiefe NN [m]
SN3	2576500,21	5954160,14	7,00 bis 9,00	4,83	-2,17 bis -4,17
SN7	2577853,21	5954378,12	7,00 bis 9,00	2,63	-4,37 bis -6,37
SN11	2577250,00	5953950,00	14,00 bis 22,00	4,57	-9,43 bis -17,43
BS8	2579872,82	5954964,24	8,00 bis 10,00	3,71	-4,29 bis -6,29
BS11	2578585,24	5954317,74	25,00 bis 27,00	3,33	-21,67 bis -23,67
BS13	2580510,34	5953685,43	27,00 bis 29,00	3,11	-23,89 bis -25,89
B37/3	2580039,82	5954390,70	43,00 bis 45,00	3,30	-39,70 bis -41,70
B37/4	2580041,31	5954390,55	8,00 bis 10,00	3,20	-4,80 bis -6,80

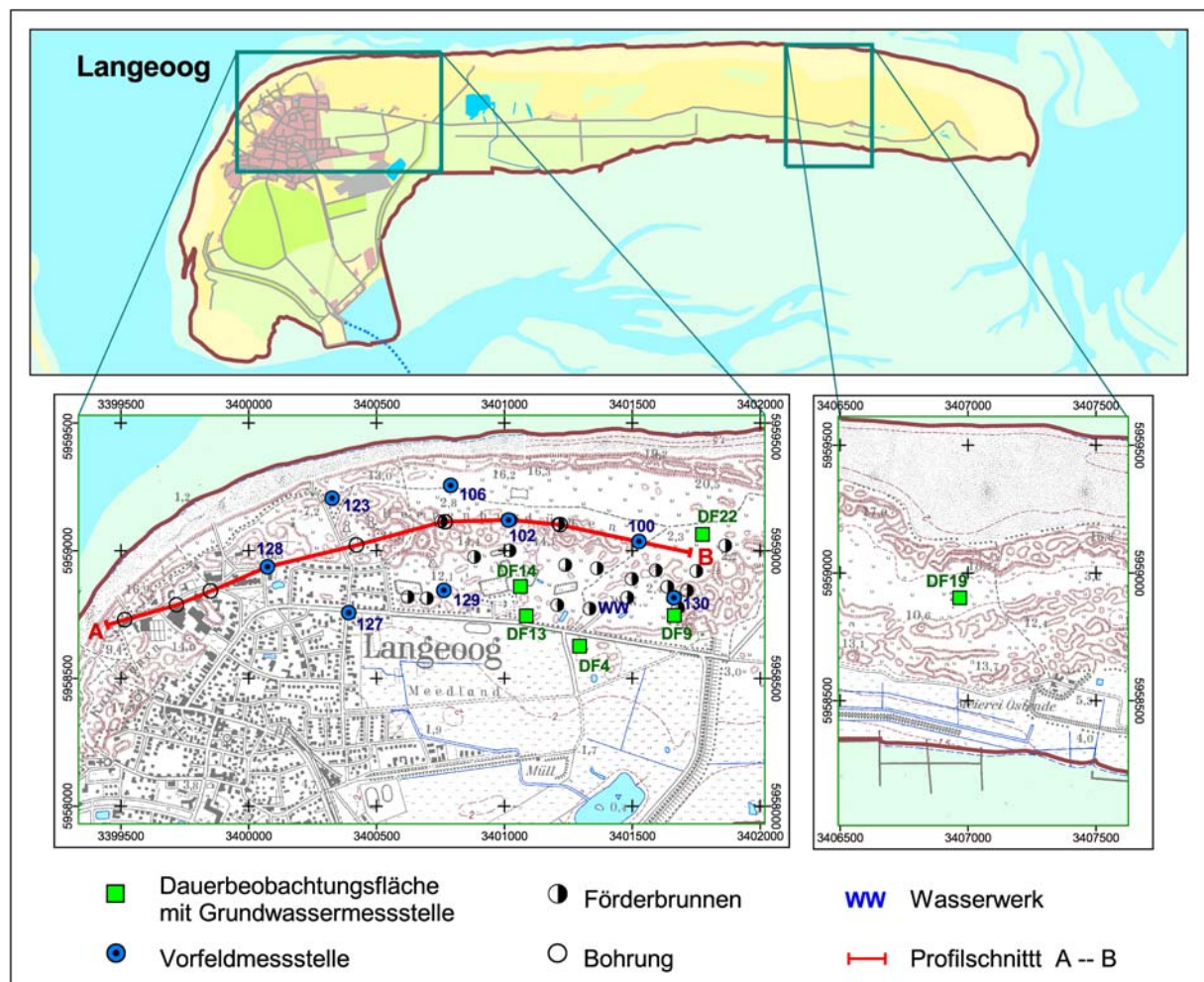


Abb. 4-1: Grundwassermonitoring Langeoog und Lage des geologischen Profilschnitts (Kap. 3.3) (GIS-Bearbeitung: H.P.Dauck, Braunschweig).

Die meisten der ausgewählten Vorfeldmessstellen sowie die Messstellen L4, L9, L19 und L22 auf Langeoog befinden sich in ausreichender Entfernung zu Wander- bzw. Radwegen oder Bebauungen. Die Messstelle L13 dagegen ist an einer Straße unmittelbar an einem Rastplatz am Ortsausgang Langeoog gelegen. Ebenfalls dem Risiko anthropogener Beeinflussung ausgesetzt sind die VM 123, 127 und 128. Während die Messstelle 128 an einer Lagerhalle nahe des Hospitz Langeoog liegt, befindet sich die VM 127 in einem Graben neben einer Straßenkreuzung. Die Messstelle 123 wurde dicht an einem Strandkiosk errichtet.

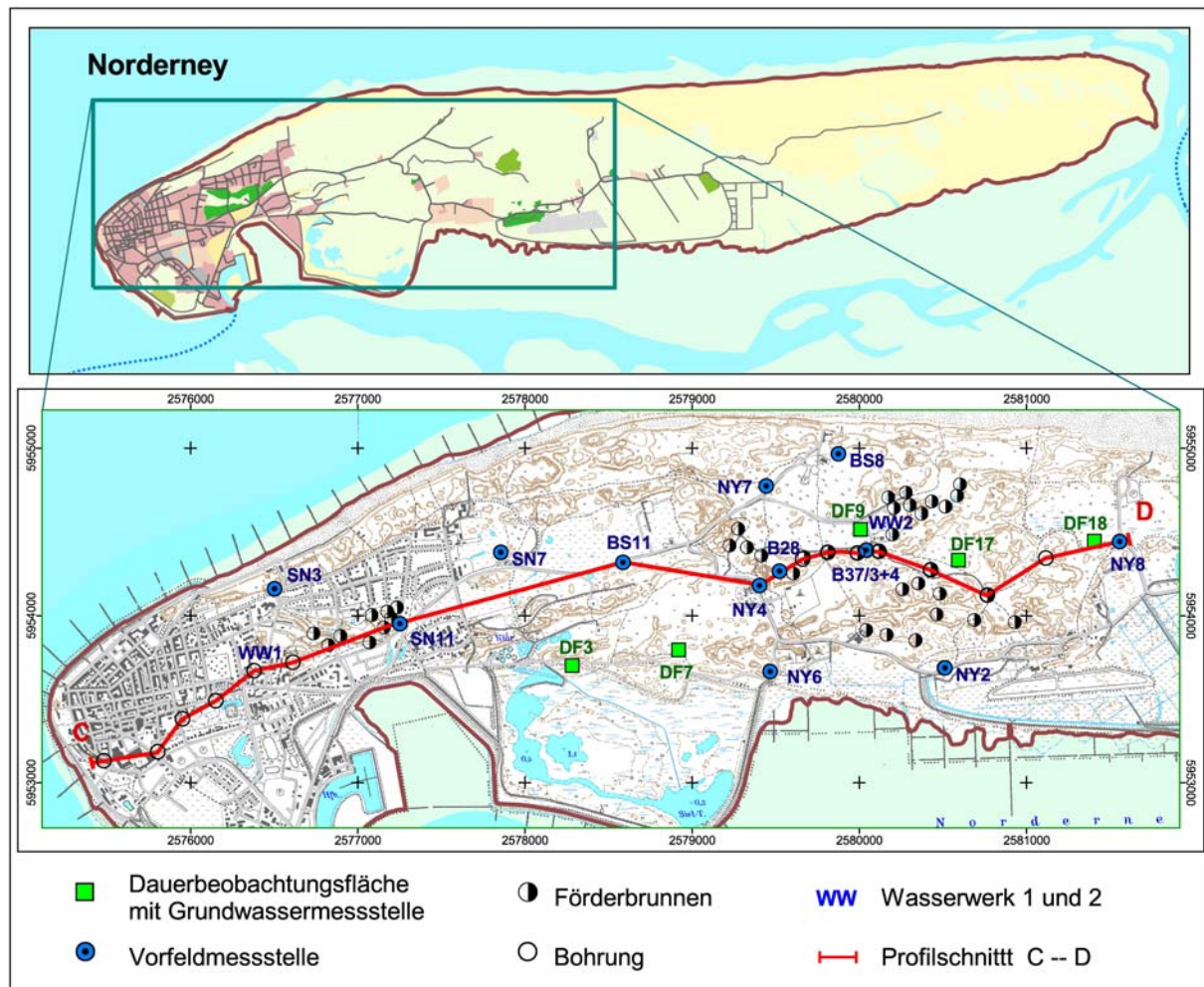


Abb. 4-2: Grundwassermonitoring Norderney und Lage des geologischen Profilschnitts (Kap. 3.3) (GIS-Bearbeitung: H.P.Dauck, Braunschweig).

Im Gegensatz zu Langeoog ist auf Norderney Autoverkehr zugelassen, die Insel ist intensiver bebaut und verfügt zudem über einen ausgedehnten Golfplatz. Die meisten beobachteten Messstellen liegen an befahrenen Straßen, Wander-, Rad- oder Reitwegen. Als weitestgehend anthropogen unbeeinflusst können lediglich die DF N17 im Großen Dünenal und N18 östlich davon angenommen werden.

Den bei der Errichtung der Messstellen an den DF gewonnenen Bohrkernen wurden teufenspezifisch Sedimentproben entnommen. Nach der Ansprache des Bohrguts gemäß DIN 4022 wurden im Labor an ausgesuchten Proben Korngrößenanalysen durchgeführt, der pH-Wert und Karbonatgehalt der Sedimente bestimmt sowie der Anteil an organischem

Kohlenstoff (TOC) und von organisch gebundenen Halogenen (AOX) ermittelt (Kap. 5.1). Darüber hinaus gab es die Möglichkeit, beim Ausbau der Vorfeldmessstelle 130 auf Langeoog und des Versuchsbrunnens B28 auf Norderney Sedimentproben aus tieferen Schichten zu gewinnen und zu analysieren. Da die Sedimentproben der ausgewählten DF in den o.g. Analysen aufgebraucht wurden, die Grundwasserleiterdeckschichten auf den Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney sehr homogen aufgebaut sind, basieren die mineralogischen und chemischen Untersuchungen auf Sedimentproben der DF L14.

## 5 Systemanalyse

### 5.1 Sedimentanalysen

Maßgebende Einflussfaktoren auf die hydrochemische Zusammensetzung eines Grundwassers sind die Art und der Aufbau des Grundwasserleiters und seiner Deckschichten.

Die Grundwasserleiter und Grundwasserleiterdeckschichten der Inseln Langeoog und Norderney bestehen aus Lockersedimenten. Dabei handelt es sich um terrigene klastische Sedimente. Die Lockergesteine sind in der Regel gut wasserdurchlässig und bestehen überwiegend aus Quarzsanden mit einem geringen Anteil an Feldspäten sowie unterschiedlichen Gehalten an organischer Substanz (eingeschaltete Torfe) und Karbonat (Schalenbruchstücke). Stellenweise treten molluskenreiche Schlickschichten auf.

Die Grundwasserdeckschichten sind weitgehend entkalkt. Die Bodenbildung ist wenig ausgeprägt (Abb. 5-1). Aufgrund dessen und der für Langeoog und Norderney typischen geringen Flurabstände üben die Grundwasserdeckschichten eine minimale Schutzfunktion für das Grundwasser aus. Verschmutzungen gelangen schnell und mehr oder weniger ungehindert in das Grundwasser und können sich im Grundwasserleiter ausbreiten (MARGGRAF & NAUMANN 2003).

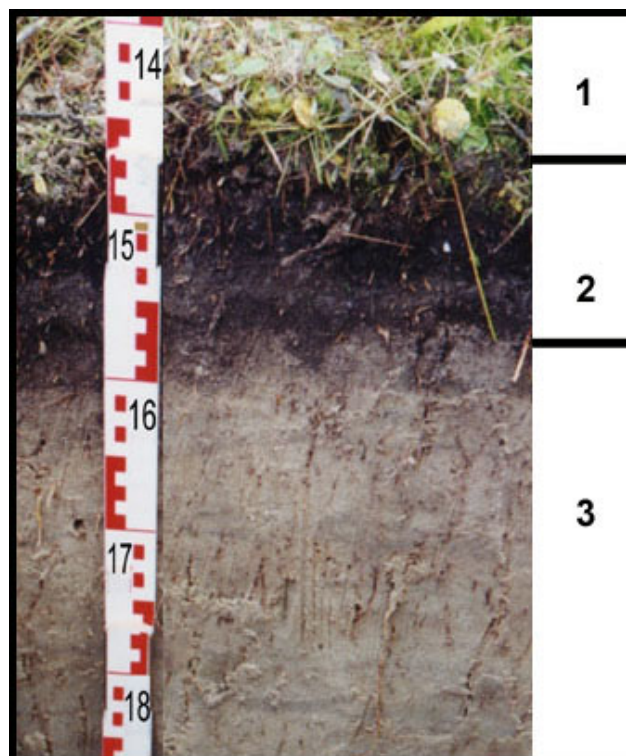


Abb. 5-1: Grundwasserdeckschichten von Langeoog, 1 = Ah-Horizont mit Bewuchs, 2 = braune Übergangszone, 3 = graue bis hellbraune Dünen sands (Foto: S. Kruse-Irmeler, Oldenburg).



### 5.1.1 Sedimentpetrographische Ansprache

Im Zuge der Bohrarbeiten zur Errichtung der flachen Messstellen an den DF konnten Sedimentproben gewonnen werden, von denen für die Untersuchungsgebiete charakteristische Proben zur weiteren Bearbeitung ausgewählt wurden. Von vorrangigem Interesse waren diejenigen DF, an denen die Qualität des Grundwassers regelmäßig analysiert wurde. Des Weiteren lagen Sedimentproben aus Tiefen von bis zu 48 m u. GOK (Langeoog VM 130) bzw. 66 m u. GOK (Norderney B28) vor.

In die folgenden Betrachtungen fließen die Ergebnisse der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Diplomarbeit von BARTSCH (2001) mit ein.

Zur Charakterisierung der gewonnenen Sedimentproben erfolgte zunächst eine sedimentpetrographische Ansprache nach DIN 4022 (Tab. 5-1 bis 5-4).

Den Abschluss der erbohrten Profile zur Teufe bilden Mittelsande mit Grobsandanteilen und Muscheln.

Im Hangenden der Mittelsande wurden marine Wattsande aufgeschlossen. Bei diesen handelt es sich um Fein- und/oder Mittelsande mit Tonlinsen.

Die sich zur Geländeoberfläche hin anschließenden hellbraunen bis grauen Dünensande setzen sich aus zumeist monotonen, unverfestigten Feinsandabfolgen und vereinzelt Schlufflagen zusammen.

Darüber folgt eine ca. 0,15 m mächtige braune Übergangszone, die überwiegend feinsandig, z.T. schluffig ausgebildet ist und einen geringeren Gehalt an fein verteilter organischer Substanz enthält.

Am Top der Abfolge steht ein durchschnittlich 0,05 m mächtiger, dunkelbrauner bis schwarzer, humusreicher Ah-Horizont mit einem hohen Anteil an organischer Substanz an. Makroskopisch sichtbar sind Wurzeln, Moos-, Gras- und Gehölzresten. Das Sediment ist überwiegend feinsandig, z.T. schluffig ausgebildet.

Abweichend von dieser Abfolge wurde auf Langeoog mit L13/5 (Tab. 5-2) ein humoser, durchwurzelter Bereich („Paläoboden“) erbohrt.

Der Bohrkern L4 von Langeoog belegt zeitweise marine Einflüsse. Über feinsandigen Watt-sedimenten (L4/6 und L4/7, Tab. 5-2) mit eingelagerten Muscheln und Schnecken (Abb. 5-2) und einer ca. 20 cm mächtigen Sandablagerung ist ein mariner Tonhorizont (L 4/4, Tab. 5-2) aufgeschlossen, der im Hangenden von Dünensanden bedeckt wird.

Auf Norderney wurde nördlich der Aussichtsdüne in 27 - 33 m u. GOK ein mariner Watt-schlick erbohrt (B28/11 und B28/12, Tab. 5-5). Dieses schluffige, graue Sediment enthält zahlreiche Muschelschalen und Tonlinsen. Wahrscheinlich handelt es sich hierbei um eine Rinnenfüllung (Kap. 5.1.2).



Abb. 5-2: *Hydrobia ulvae* und eine *Cerastoderma edule* (Herzmuschel) im Sediment der Probe L4/7 von Langeoog (BARTSCH 2001).

### 5.1.2 Siebanalysen zur Ermittlung hydraulischer Parameter

Die Strömungsrichtung und -geschwindigkeit des Grundwassers wird u.a. von der Durchlässigkeit bzw. hydraulischer Leitfähigkeit des Grundwasserleiters bestimmt. Je nach dem Grad der Durchlässigkeit werden Gesteinskörper als Grundwasserleiter (gut durchlässig), Grundwasserhemmer (früher: Geringleiter, gering wasserdurchlässig) und Grundwassernichtleiter (wasserundurchlässig) bezeichnet (HÖLTING 1996). Bei Lockergesteinen zählen nach RICHTER & LILLICH (1975) mittelkörnige und feine Sande als Leiter, Sand-Schluff-Gemische, Schluffe und sandige Tone als überwiegend Geringleiter. Eine materialspezifische Größe zur Beschreibung der hydraulischen Leitfähigkeit ist der  $k_f$ -Wert [m/s], auch Durchlässigkeitsbeiwert genannt.

Der  $k_f$ -Wert kann auf verschiedene Weise ermittelt werden. Ein recht einfaches Verfahren ist die Bestimmung des  $k_f$ -Wertes aus der Korngrößenanalyse. Diese wurde nach DIN 18123 an den auf den Inseln gewonnenen Sedimentproben durchgeführt (Anhang 2). Aus den Korngrößenanalysen konnten nach BEYER (1964) die  $k_f$ -Werte ermittelt werden. Die Ergebnisse sind den Tab. 5-2 bis 5-5 zu entnehmen. Die feinsandigen Grundwasserdeckschichten sowie die oberflächennahen Grundwasserleiter bis 2 m Tiefe haben an den betrachteten DF einen Durchlässigkeitsbeiwert zwischen  $2,1$  und  $2,6 \cdot 10^{-4}$  m/s. Die Sedimente sind nach DIN 18130 als durchlässig einzustufen (Tab. 5-1).

Tab. 5-1: Bewertung der Durchlässigkeiten in Lockergesteinen mittels  $k_f$ -Wert (DIN 18130, Teil 1).

Durchlässigkeit	$k_f$ -Wert [m/s]
sehr stark	$> 10^{-2}$
stark	$10^{-6}$ bis $10^{-4}$
durchlässig	$10^{-4}$ bis $10^{-6}$
schwach	$10^{-6}$ bis $10^{-8}$
sehr schwach	$< 10^{-8}$

Die von den Wasserwerksbetreibern zur Verfügung gestellten Bohrprofile und die Proben der Bohrungen 130 von Langeoog bzw. B28 von Norderney belegen, dass die Durchlässigkeit mit der Tiefe zunimmt (Tab. 5-4 und 5-5). Die Schichten sind hier nach DIN 18130 stark durchlässig.

Zwischen 27 und 33 m u. GOK wurden bei B28 Wattschlicke mit einer schwachen Durchlässigkeit von gemittelt  $4,8 \cdot 10^{-6}$  m/s erbohrt (Tab. 5-5). Sie fungieren als regional begrenzter Grundwasserstauer. Derartige lokale Grundwasserstauer sind auch in einigen Bohrprofilen von Langeoog beschrieben. Es handelt sich hierbei wahrscheinlich um alte Rinnensysteme.

Tab. 5-2: Ergebnisse der Untersuchungen an den Sedimentproben der DF von Langeoog (MARGGRAF & NAUMANN 2003).

Probe	Teufe u. GOK [m]	Ansprache nach DIN4022	pH-Wert [-]	TOC [%]	AOX [ $\mu\text{g/kg}$ ]	$k_f$ -Wert [m/s]
L4/1	0 – 0,02	qh/fS; u, h, wz/bo/dbn	3,8	25,1	-	-
L4/2	0,02 – 0,04	qh/fS; u, h, wz/bo/dbn	4,3	5,4	-	-
L4/3	0,04 – 0,91	qh/fS/a/rofle, bngr	4,3	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L4/4	0,91 – 1,02	qh/T; fs/m/grbn	6,4	2,8	-	-
L4/5	1,02 – 1,19	qh/fS/m/bn, dgr	7,1	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L4/6	1,19 – 1,36	qh/fS; fo/m/bngr	7,5	-	-	$2,9 \cdot 10^{-4}$
L4/7	1,36 – 1,44	qh/fS; fo/m/ bngr	7,7	-	-	-
L9/3	0,04 – 0,25	qh/fS; h/a/bn	3,9	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L9/4	0,25 – 0,74	qh/fS/a/rofle, hbnggr	4,3	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L9/5	0,74 – 1,00	qh/fS/a/gr	4,2	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L13/1	0 – 0,02	qh/fS; u, h, wz/bo/dbn	3,8	31,6	9,10	-
L13/2	0,02 – 0,05	qh/fS; u, h, wz/bo/dbn	3,8	33,2	0,40	-
L13/3	0,05 – 0,23	qh/fS/a/bngr	6,4	2,5	2,50	-
L13/4	0,23 – 0,68	qh/fS, wz/a/rofle, hbn	4,3	0,2	3,80	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L13/5	0,68 – 0,73	qh/fS; u, h/bo/bngr	3,4	4,7	16,40	-
L13/6	0,73 – 1,03	qh/fS; h, wz/bo/rofle, bn	3,4	0,4	1,40	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L13/7	1,03 – 1,17	qh/fS/a/hbnggr, ge=	3,7	0,2	1,00	$2,6 \cdot 10^{-4}$
L13/8	1,17 – 1,73	qh/fS; h/a/br, hbnggr	3,6	0,1	0	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L19/1	0 – 0,04	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	4,1	17,6	35,50	-
L19/2	0,04 – 0,08	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	4,3	12,1	32,10	-
L19/3	0,08 – 0,13	qh/U; fs, h, wz/bo/dbnggr	4,3	6,4	35,60	-
L19/4	0,13 – 0,26	qh/U; fs, wz/a/dbnggr	4,6	2,8	14,70	-
L19/5	0,26 – 0,55	qh/fS/a/hbnggr, bn	4,8	-	1,60	$2,6 \cdot 10^{-4}$
L22/1	0 – 0,03	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	3,9	34,7	18,70	-
L22/2	0,03 – 0,14	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	3,5	11,7	15,90	-
L22/3	0,14 – 0,38	qh/fS; wz/a/rofle, bn	4,6	-	18,20	$2,3 \cdot 10^{-4}$
L22/4	0,38 – 0,55	qh/fS; wz/a/hbnggr	4,1	-	14,20	$2,2 \cdot 10^{-4}$
L22/5	0,55 – 1,74	qh/fS/a/hbnggr	4,2	-	15,70	$2,6 \cdot 10^{-4}$

Tab. 5-3: Ergebnisse der Untersuchungen an den Sedimentproben der DF von Norderney (MARGGRAF &amp; NAUMANN 2003).

Probe	Teufe u. GOK [m]	Ansprache nach DIN4022	pH-Wert [-]	TOC [%]	AOX [ $\mu\text{g/kg}$ ]	$k_f$ -Wert [m/s]
N3/4	0,09 – 0,22	qh/fS; wz/a/hbn	-	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
N3/5	0,22 – 0,83	qh/fS/a/hbn	-	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
N3/6	0,83 – 1,16	qh/fS/a/hgrbn	-	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
N7/3	0,07 – 0,20	qh/fS/a/hbn	-	-	-	$2,1 \cdot 10^{-4}$
N7/4	0,20 – 0,36	qh/fS/a/hbn	-	-	-	-
N7/5	0,36 – 1,00	qh/fS/a/gr	-	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$
N9/1	0 – 0,02	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	3,5	41,0	19,30	-
N9/2	0,02 – 0,08	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	3,5	5,1	5,40	-
N 9/3	0,08 – 0,12	qh/fS; wz/a/gr	4,1	4,8	2,40	-
N9/4	0,12 – 0,28	qh/fS/a/hbn	4,9	0,2	0	$2,4 \cdot 10^{-4}$
N9/5	0,28 – 1,44	qh/fS/a/hbn, gr	6,7	0,3	0	$2,2 \cdot 10^{-4}$
N9/6	1,44 – 1,75	qh/fS/a/hbn, gr	8,2	0,5	0	$2,2 \cdot 10^{-4}$
N17/6	0,45 – 1,03	qh/fS/a/hbn, gr	-	-	-	$2,6 \cdot 10^{-4}$
N18/1	0 – 0,01	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	3,5	-	-	-
N18/2	0,01 – 0,05	qh/U; fs, h, wz/bo/dbn	3,7	-	-	-
N18/3	0,05 – 0,10	qh/fS; h, wz/a/bngr	3,6	-	-	-
N18/4	0,10 – 0,21	qh/fS; wz/a/hbn	4,2	-	-	-
N18/5	0,21 – 1,05	qh/fS/a/hbngr	4,9	-	-	-
N18/6	1,05 – 1,07	qh/fS; Tl/a/rofle, gr	6,4	-	-	-
N18/7	1,07 – 1,45	qh/fS/a/hbn, gr	6,5	-	-	$2,2 \cdot 10^{-4}$

Tab. 5-4:  $k_f$ -Werte der Sedimentproben der Vorfeldmessstelle 130 von Langeoog (MARGGRAF & NAUMANN 2003).

Probe	Teufe u. GOK [m]	Ansprache nach DIN4022	Karbonatgehalt [%]	pH-Wert [-]	$k_f$ -Wert [m/s]
130/1	0 – 3	qh/fS/a/hgr	0	4,4	$2,79 \cdot 10^{-4}$
130/2	3 – 6	qh/fS; ms, Tl, fo/m/hgr	1,7	7,6	$3,32 \cdot 10^{-4}$
130/3	6 – 9	qh/fS; ms, Tl, fo/m/hgr	2,6	7,6	$3,48 \cdot 10^{-4}$
130/4	9 – 12	qh/fS; ms, Tl, fo/m/hgr	1,1	7,7	$3,02 \cdot 10^{-4}$
130/5	12 – 15	qh/fS; ms, Tl, fo, hzk/m/gr	2,0	7,8	$3,03 \cdot 10^{-4}$
130/6	15 – 18	qh/mS; fs, Tl, fo/m/gr	5,4	8,1	$4,04 \cdot 10^{-4}$
130/7	18 – 21	qh/mS; fs, Tl, fo/m/gr	3,8	7,9	$3,98 \cdot 10^{-4}$
130/8	21 – 24	qh/mS; fs, Tl, fo/m/gr	0,5	7,7	$4,58 \cdot 10^{-4}$
130/9	24 – 27	qh/fS; ms, Tl, fo/m/gr	1,0	7,8	$3,43 \cdot 10^{-4}$
130/10	27 – 30	qh/fS; ms, Tl, fo, hzk/m/gr	2,4	7,6	$2,95 \cdot 10^{-4}$
130/11	30 – 33	qD/mS; gs, fo, hzk/gf/gr	0,1	6,2	$8,80 \cdot 10^{-4}$
130/12	33 – 36	qD/mS; gs, fo, hzk/gf/gr	0,1	6,8	$8,42 \cdot 10^{-4}$
130/13	36 – 39	qD/mS; gs, fo, hzk/gf/gr	0,1	-	$7,20 \cdot 10^{-4}$
130/14	39 – 42	qD/mS; gs, fo2, Tl2, hzk/gf/hgr	0	-	$8,27 \cdot 10^{-4}$
130/15	42 – 45	qD/mS; gs, fo2/gf/hgr	0	-	$1,24 \cdot 10^{-3}$
130/16	45 – 48	qD/mS; gs, fo2/gf/hgr	0,2	-	$1,22 \cdot 10^{-3}$



Tab.5-5: Karbonatgehalte, pH- und  $k_f$ -Werte der Sedimentproben des Förderbrunnens B28 von Norderney.

Probe	Teufe u. GOK [m]	Ansprache nach DIN4022	Karbonatgehalt [%]	pH-Wert [-]	$k_f$ -Wert [m/s]
B28/1	0 – 1,5	qh/fS, wz/bo-a/ob(bn), un(hbn)	0	4,1	-
B28/2	1,5 – 3	qh/fS/a/hbn	0	6,3	$2,75 \cdot 10^{-4}$
B28/3	3 – 6	qh/fS/a/hbn	0	6,6	$3,08 \cdot 10^{-4}$
B28/4	6 – 9	qh/fS; ms1, fo1/m/hbn-gr	0,2	6,7	$3,11 \cdot 10^{-4}$
B28/5	9 – 12	qh/fS; fo1/m/hgr, ge=	0,8	6,9	$2,81 \cdot 10^{-4}$
B28/6	12 – 15	qh/fS; fo2/m/hgr, ge=	0,3	7,1	$3,89 \cdot 10^{-4}$
B28/7	15 – 18	qh/mS; fs2, fo4/m/gr	1,4	7,2	$4,50 \cdot 10^{-4}$
B28/8	18 – 21	qh/mS; fs1, fo5/m/gr	3,1	7,7	$5,47 \cdot 10^{-4}$
B28/9	21 – 24	qh/mS; fs2, fo4/m/gr	6,0	7,5	$5,11 \cdot 10^{-4}$
B28/10	24 – 27	qh/mS; fs, ul, fo4/m/gr	2,7	7,8	$4,63 \cdot 10^{-4}$
B28/11	27 – 30	qh/U; fs2, t, fo5, Tl/m/dgr	7,8	7,9	$5,07 \cdot 10^{-6}$
B28/12	30 – 33	qh/U; fs, t, fo4, Tl/m/dgr	4,3	8,0	$4,56 \cdot 10^{-6}$
B28/13	33 – 36	qD/mS; gs2, fs2, fo, Tl/gf/gr	2,5	8,0	$2,93 \cdot 10^{-4}$
B28/14	36 – 39	qD/mS; gs, fs1, fo1/gf/gr	1,6	7,3	$3,68 \cdot 10^{-4}$
B28/15	39 – 42	qD/mS; gs, fs1, fo2, Tl2/gf/gr	0,8	7,7	$3,96 \cdot 10^{-4}$
B28/16	42 – 45	qD/mS; gs, fs1, fo1, Tl/gf/hgr	0,3	7,7	$3,30 \cdot 10^{-4}$
B28/17	45 – 48	qD/mS; gs, fs2, fo1/gf/hgr	0,1	7,6	$3,23 \cdot 10^{-4}$
B28/18	48 – 51	qD/mS; gs2, fs, fo1/gf/hgr	0	7,4	$3,41 \cdot 10^{-4}$
B28/19	51 – 54	qD/mS; gs2, fs, Tl1/gf/hgr	0,4	7,6	$3,39 \cdot 10^{-4}$
B28/20	54 – 57	qD/mS; gs4, fs2/gf/hgr	0,1	7,7	$5,85 \cdot 10^{-4}$
B28/21	57 – 60	qD/gS; ms, fs2, fo1, Tl1/gf/hgr	1,1	7,8	$4,66 \cdot 10^{-4}$
B28/22	60 – 63	qD/gS; ms, fs2, fo2, Tl1/gf/hgr	1,4	7,4	$4,48 \cdot 10^{-4}$
B28/23	63 – 66	qD/gS; ms4, fs1, fo1, Tl1/gf/hgr	0,2	8,0	$6,90 \cdot 10^{-4}$

Ein wesentlich genaueres Verfahren zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit stellen Pumpversuche dar. Im Zuge der Errichtung einer neuen Brunnenreihe südwestlich des Wasserwerkes II auf Norderney wurden im März und Oktober 2002 an dem Versuchsbrunnen B28 mehrstufige Pumpversuche durchgeführt. Der Brunnen B28 erschließt mit einer Filtertiefe von 17 - 19 m u. ROK den Grundwasserleiter oberhalb des als geringleitend eingestuften marinen Wattschlicks (Tab. 5-5). Der Ruhewasserspiegel beträgt 5,73 m u. ROK. Daraus resultierend erreicht der obere Grundwasserleiter im Bereich des Brunnens B28 eine Mächtigkeit von ca. 21 m. Aus den Pumpversuchen ergibt sich ein  $k_f$ -Wert für diesen Grundwasserleiter von  $2,2 \cdot 10^{-4}$  m/s (FÜHRBÖTER & WOLFF 2002). Dieser liegt knapp unter dem über Korngrößenanalysen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwert von  $4,2 \cdot 10^{-4}$  m/s (Mittelwert B28/4 – B28/10). Im Jahr 2004 wurden im Bereich des Brunnens B28 im oberen Grundwasserleiter erneut Pumpversuche durchgeführt (FÜHRBÖTER 2004). Die Ergebnisse bestätigen mit ermittelten  $k_f$ -Werten zwischen  $1,6 \cdot 10^{-5}$  m/s und  $6,4 \cdot 10^{-5}$  m/s weitestgehend das Resultat des Pumpversuches an Brunnen B28 im Jahr 2002 (FÜHRBÖTER & WOLFF 2002).

### 5.1.3 Karbonatanalyse

Karbonate entstehen häufig als Folge biologischer Aktivitäten oder in wässrigen Lösungen durch Ausfällung in Folge von Übersättigung (MERKEL & SPERLING 1996). Der Karbonatgehalt eines Grundwasserleiters bestimmt neben dem pH-Wert und der Ionenstärke der wässrigen Phase, welche Spezies des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts im Grundwasser dominiert:



Die quantitative Bestimmung des Karbonatgehalts der Sedimentproben wurde nach DIN 18129 (SCHEIBLER) durchgeführt. Vorab erfolgte eine qualitative Vorprobe mit 10 %-iger Salzsäure.

Bei den oberflächennahen Sedimenten der Untersuchungsgebiete handelt es sich meist um karbonatfreie bis -arme Dünensande. Die geringen Karbonatgehalte werden in den meisten Fällen zudem als Puffersubstanzen verbraucht. Das Puffervermögen der äolischen Schichten ist i.a. sehr gering.

Von den Sedimentproben der DF reagierten lediglich die Proben L4/4 bis L4/7, N9/5 und N9/6 mit Salzsäure. Der analysierte Karbonatgehalt beträgt zwischen 0,4 und 1,8 %, wobei bei Karbonatgehalten unter 1% die Messungen als relativ ungenau angesehen werden müssen. Die Proben L4/4 bis L4/7 sind marinen Ursprungs und enthalten z.T. erhebliche Mengen an Karbonatschalen (Abb. 5-2), während die Sedimente der Proben N9/5 und N9/6 durch ein karbonatisches Bindemittel schwach verfestigt sind.

An den Sedimentproben der Bohrungen VM130 und B28 wurden durchgehend Karbonatanalysen durchgeführt. Wie erwartet, deutet sich eine Korrelation zwischen den Karbonatgehalten der Proben und den entsprechenden pH-Werten in den Sedimenten an (Abb. 5-3). Die Karbonatgehalte der Sedimentproben der VM 130 von Langeoog sind Tab. 5-4 zu entnehmen. Die Bohrung erreicht eine Endteufe von 48 m u. GOK und erschließt karbonatfreie glazifluviale Schmelzwassersande (30 - 48 m u. GOK) sowie darüber liegende marine Sedimente (3 - 30 m u. GOK) mit Karbonatgehalten bis zu 5,4 %. Den Abschluss des Profils zum Hangenden bilden karbonatfreie Dünensande. Ein ähnliches Profil zeigt die Karbonatverteilung der Bohrung B28 von Norderney (Tab. 5-5). Hier werden die höchsten Karbonatgehalte von 7,8 % in den stark fossilführenden, schluffigen Schichten (mariner Wattschlick, 27 - 33 m u. GOK) im Hangenden der glazifluviatilen Schmelzwassersande angetroffen.

#### 5.1.4 pH-Wert

Der pH-Wert steuert die chemischen, physikalischen und biologischen Bodeneigenschaften sowie das Pflanzenwachstum direkt oder indirekt. Dieser wirkt sich z.B. auf die Verfügbarkeit von Nährstoffen, die Nitrifikation und das Auftreten toxisch und antagonistisch wirkender Aluminium- und Schwermetallionen aber auch auf die Lebensbedingungen der Bodenorganismen aus (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Aufgrund der humiden klimatischen Bedingungen in Mitteleuropa neigen die Böden zur Versauerung, wobei der Versauerungsgrad bei naturbelassenen Böden zu Oberfläche hin zunimmt. Verantwortlich sind natürliche Prozesse, wie die beim Abbau pflanzlicher Materie freigesetzten organischen Säuren und Kohlensäure. Je nach Art und Menge von Puffersubstanzen, z.B. Karbonaten, variiert die pH-Abnahme zeitlich und regional (Abb. 5-3). Hinzu kommen auch anthropogene Einträge und saure Niederschläge.

Die pH-Bestimmung in den Sedimentproben erfolgte nach DIN 38414-5. Auf den Inseln schwanken die pH-Werte zwischen pH 3,4 (sehr stark sauer) und pH 8,2 (schwach alkalisch) (Tab. 5-2 bis 5-5). Besonders niedrige pH-Werte wurden stets in Schichten gemessen, die reich an organischer Substanz sind. In der Regel ist dies in den oberen Bodenhorizonten der Fall. In diesem Bereich kommt es im Zusammenhang mit der Bodenentwicklung zu einer verstärkten Versauerung. Zur Tiefe hin nehmen die Anteile an organischer Substanz ab, kalkige und tonige Anteile im Sediment treten vermehrt auf und die pH-Werte steigen leicht an.

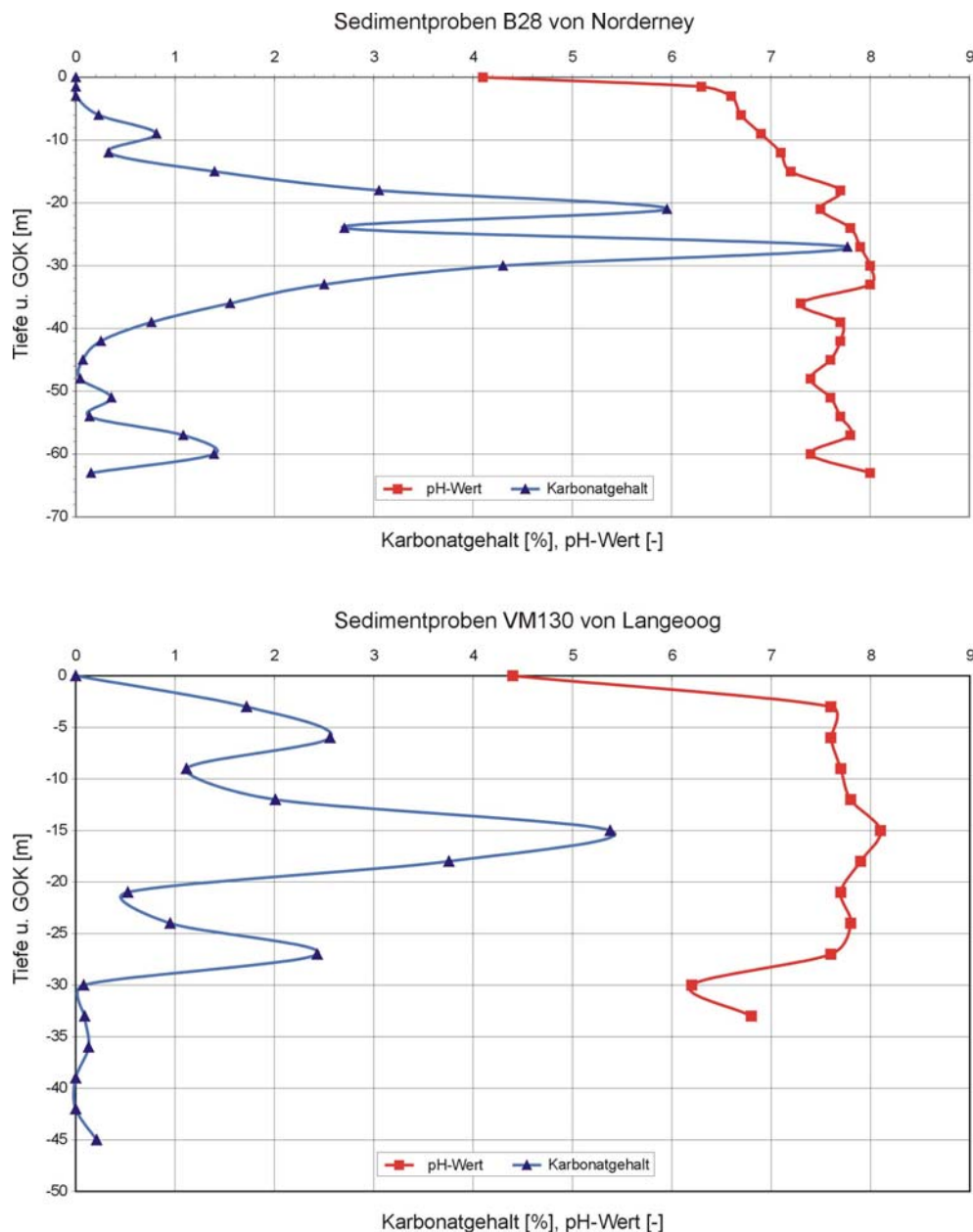


Abb. 5-3: Zusammenhang zwischen Karbonatgehalt und pH-Wert der Sedimentproben aus B28 von Norderney und VM 130 von Langeoog.

### 5.1.5 Mineralogische und chemische Zusammensetzung

Aufschluss über die mineralogische Zusammensetzung eines Sediments liefern u.a. Untersuchungen mittels Röntgendiffraktometrie (RDA). Ausgewählte Proben von Langeoog aus unterschiedlichen Tiefen wurden gesiebt, die Korngrößenfraktionen  $< 65 \mu\text{m}$  wurden mit einem Pulverdiffraktometer der Fa. *Philips*, ausgestattet mit einer Kupferröhre, analysiert. Die Auswertung erfolgte über das Programm ADM V6.11 von *Wassermann Röntgenanalytik*. Die Diffraktogramme sind Anhang 3 zu entnehmen. Danach setzen sich die Sedimente überwiegend aus Quarz und untergeordnet Feldspäten zusammen. In den Proben L14 aus 0 - 0,07 m, L130 aus 9 - 12 m und 21 - 24 m Teufe wurde zusätzlich Calcit, vermutlich aus Schalenbruchstücken, gefunden. Schwerminerale konnten analytisch nicht erfasst werden.

Um die chemische Zusammensetzung der Sedimente betrachten zu können, wurde die Korngrößenfraktion < 125 µm mit Königswasser aufgeschlossen und mit der ICP-OES (ARL/3520, FISIONS/MAXIM) analysiert. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 5-6 und 5-7 aufgelistet. Dabei ist zu beachten, dass bei der gewählten Aufschlussmethode die Analysenergebnisse von Al und Cr als nicht belastbar betrachtet werden müssen. Aus diesem Grund wird im Folgenden auf diese Elemente nicht eingegangen.

Tab. 5-6: Chemische Zusammensetzung ausgewählter Sedimentproben von Langeoog, Kornfraktion < 125 µm.

Bohrgr.	Teufe [m]	Sediment	Na [ppm]	K [ppm]	Mg [ppm]	Ca [ppm]	S [ppm]	P [ppm]	Ba [ppm]	Sr [ppm]
L14	0-0,07	qh/fS;h,wz/bo/bn	3460	5965	1906	6694	1235	380	200	86
L14	0,07-0,16	qh/fS;wz/a/hbngr	4525	7483	2433	10013	580	218	270	128
L14	0,70-0,80	qh/fS/a/hgr	4333	7594	3231	13103	255	393	265	149
L130	9-12	qh/fS;ms,Tl, fo/m/hgr	4768	9062	2261	16298	348	193	304	124
L130	21-24	qh/mS;fs,Tl, fo/m/gr	4182	8610	2185	19012	3022	243	300	154
L130	24-27	qh/fS;ms,Tl,fo/m/gr	3275	8519	1397	7864	1471	165	290	99
L130	33-36	qD/mS;gs,fo,hzk/gf/gr	3009	16142	698	3345	2213	100	574	81

Tab. 5-7: Metalle und Schwermetalle in ausgewählten Sedimentproben von Langeoog, Kornfraktion < 125 µm.

Bohrgr.	Teufe [m]	Sediment	Fe [ppm]	Mn [ppm]	Al [ppm]	Co [ppm]	Ni [ppm]	Cr [ppm]	Cu [ppm]	Zn [ppm]
L14	0-0,07	qh/fS;h,wz/bo/bn	18899	1100	17974	24,7	6,2	61	8,5	45
L14	0,07-0,16	qh/fS;wz/a/hbngr	28535	1731	25302	34,2	8,2	89	16,8	38
L14	0,70-0,80	qh/fS/a/hgr	34954	1986	28400	41,8	11,2	113	19,1	42
L130	9-12	qh/fS;ms,Tl, fo/m/hgr	7092	287	18944	7,3	7,3	25	6,1	13
L130	21-24	qh/mS;fs,Tl, fo/m/gr	13122	621	19327	16,6	8,0	47	5,1	22
L130	24-27	qh/fS;ms,Tl,fo/m/gr	13130	610	17548	21,6	8,7	35	11,5	19
L130	33-36	qD/mS;gs,fo,hzk/gf/gr	8331	315	23877	15,3	8,2	26	11,9	21

Eine deutliche Korrelation der Elemente mit der Tiefe ist v.a. bei Eisen und Mangan festzustellen. Die oberflächennahen, weitgehend entkalkten äolischen Sande (L14: 0 - 0,80 m u. GOK) weisen hohe Eisen und Mangangehalte auf. Es ist anzunehmen, dass in diesem Bereich oberhalb der Grundwasseroberfläche leicht saure und sehr wahrscheinlich oxidierende bis schwach reduzierende Milieubedingungen vorherrschen. Anorganisch gebundenes Eisen und Mangan liegen unter aeroben Bedingungen meist als schwerlösliches Oxid vor, daneben gebunden in Silicaten und Karbonaten. Aufgrund der geringen Löslichkeit werden Eisen und Mangan unter oxidierenden Bedingungen kaum mit der Bodenlösung ausgewaschen. Lediglich lösliche organische Komplexbildner und hohe Chlorid-Gehalte machen diese Elemente mobil. Im anaeroben, reduzierenden Milieu, wie es für tiefere Sedimentschichten anzunehmen ist, können Eisen und Mangan dagegen auch aus anorganischen Oxiden gelöst werden. Häufig treten Eisen- und Manganoxide assoziiert auf, Mangan ist oft an Eisenoxide adsorbiert (MERKEL & SPERLING 1996). Dies erklärt die gute Korrelation zwischen diesen beiden Elementen (Abb. 5-4).

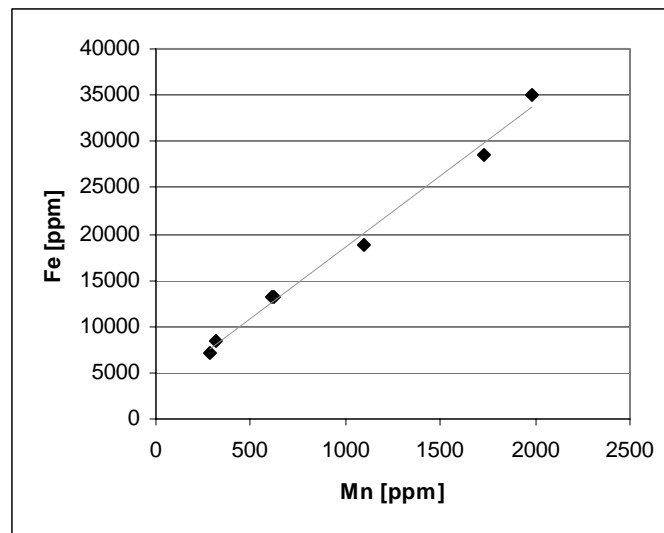


Abb. 5-4: Zusammenhang zwischen der Eisen- und Mangangehalten der untersuchten Sedimentproben von Langeoog.

Obwohl mit der RDA keine Schwerminerale und Glimmer nachgewiesen werden konnten, enthalten die Sedimentproben deutliche Anteile an Cobalt, Nickel, Chrom, Kupfer und Zink. Eine Anreicherung ist v.a. in den äolischen Sedimenten unterhalb des Oberbodens zu beobachten. Schwermetalle liegen an organischer Substanz, Eisen- und Manganoxiden adsorbiert oder analog zu Eisen und Mangan in Tonmineralen und anderen Silikaten festgelegt vor. Dementsprechend zeigen diese Elemente ein ähnliches geochemisches Verhalten wie die oben beschriebenen Metalle (Abb. 5-5).

Kalium scheint mit der Entnahmetiefe zu korrelieren. Die Kaliumkonzentrationen nehmen leicht mit dem Abstand zur Geländeoberfläche zu. Kalium ist neben Natrium und Aluminium ein wesentlicher Bestandteil der Feldspäte (v.a. Kalifeldspäte). Weitere wichtige Kaliumminerale sind Glimmer u.a. Tonminerale. Der Kaliumgehalt eines Sediments ist als Funktion der Lösungsrate von Kalium-Mineralen (z.B. Kalifeldspäten) und der Kristallisationsrate von stabilen Kaliummineralen (z.B. Illit) zu betrachten (MERKEL & SPERLING 1996). Kalifeldspäte verwittern bevorzugt unter sauren Bedingungen, d.h. oberflächennah, das Kalium geht in Lösung und wird entweder mit der Lösung abtransportiert, an Tonmineralen adsorbiert oder dient den Pflanzen als Nährstoff. Die Kaliumauswaschung aus tonarmen Sandböden ist erheblich (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998).

Aufgrund der nahezu identischen Atomgröße kann Kalium sehr gut durch Barium ersetzt werden. Dementsprechend auffällig ist die gute Korrelation zwischen diesen beiden Elementen (Abb. 5-6).

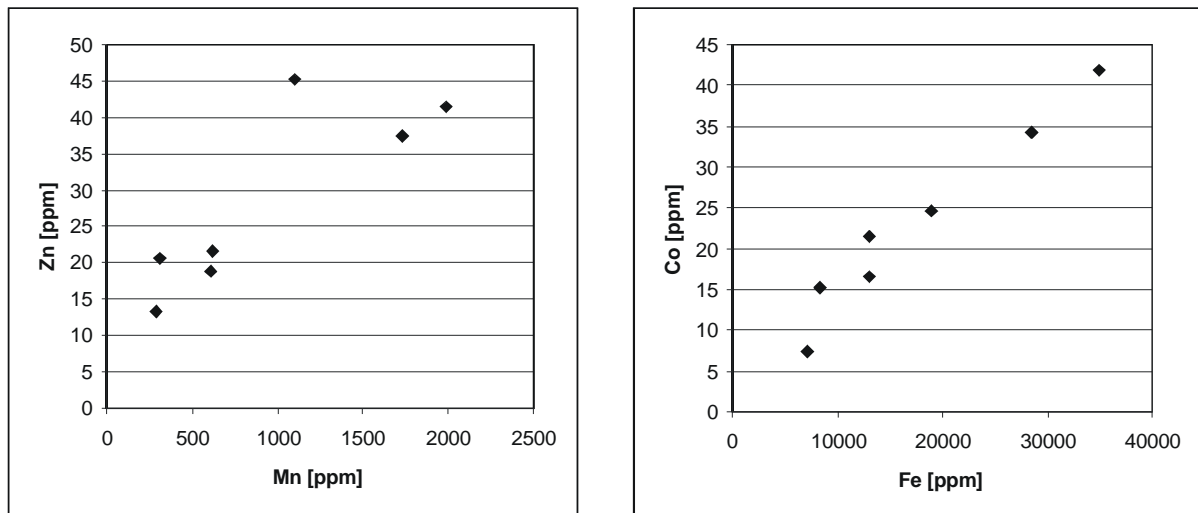


Abb. 5-5: Zusammenhang zwischen der Zink- und Mangankonzentration bzw. dem Cobalt- und Eisengehalt der untersuchten Sedimentproben von Langeoog.

Natrium tritt in höheren Konzentrationen im Sediment lediglich in Meeresnähe auf. Eine starke Anreicherung erfolgt jedoch auch bei hoher Na-Zufuhr nicht, da Natrium nur sehr schwach gebunden und somit leicht ausgewaschen wird (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Aus Feldspäten wird Natrium analog zu Kalium freigesetzt, es werden jedoch nur wenig Sekundärminerale gebildet und auch die Festlegung von Natrium an Mineraloberflächen infolge von Kationenaustausch spielt mengenmäßig keine große Rolle (MERKEL & SPERLING 1996).

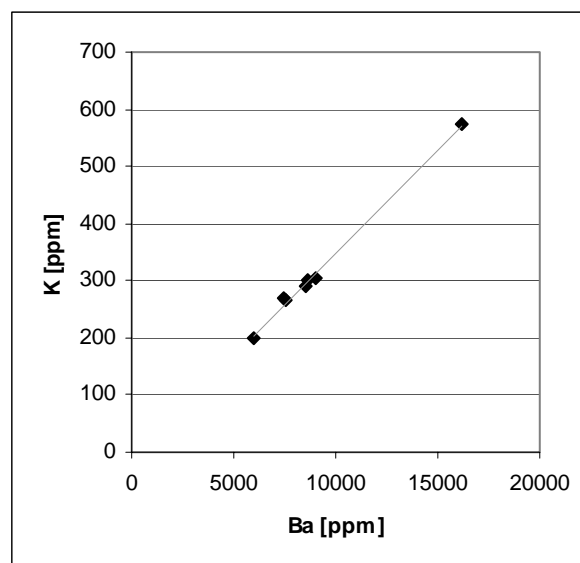


Abb. 5-6: Zusammenhang zwischen der Kalium- und Bariumkonzentration der untersuchten Sedimentproben von Langeoog.

Ein ähnlicher Zusammenhang wie zwischen Kalium und Barium besteht auch zwischen Calcium und Strontium (Abb. 5-7). Eine Abhängigkeit von der Tiefe scheint jedoch nicht gegeben. Das chemische Verhalten von Strontium ist dem des Calciums sehr ähnlich. In Sedimenten kommt Strontium wie Calcium häufig als Karbonat und als Sulfat vor. Ein Zusammenhang zwischen Calcium, respektive Strontium und Schwefel ist zu erwarten (Abb. 5-7). Es fällt auf, dass hohe Schwefelgehalte bei niedrigen Calciumkonzentrationen und umgekehrt vorliegen. Die Eisengehalte der Sedimente verhalten sich weitgehend ebenfalls umgekehrt proportional zu den Schwefelgehalten (Tab. 5-6). Schwefel ist jedoch häufig an

organische Substanzen gebunden. In der Umgebung organischer Substanzen, z.B. Torf, herrschen häufig niedrigere pH-Werte und damit verbunden niedrige  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte im Sediment vor. Korrelationen zwischen Calcium und Phosphor oder Magnesium sind nicht gegeben (Tab. 5-6).

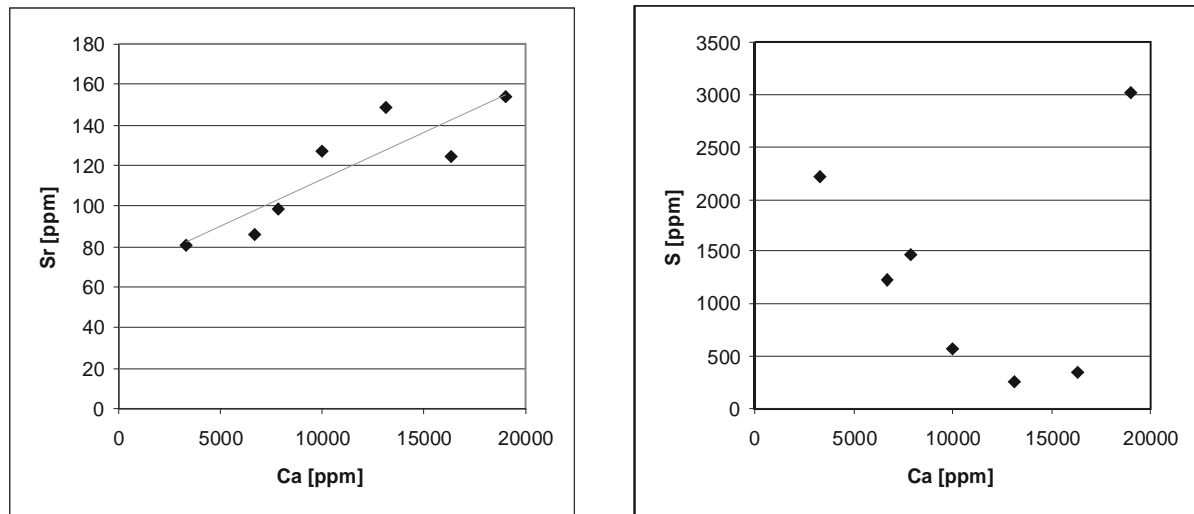


Abb. 5-7: Zusammenhang zwischen der Calcium- und Strontiumkonzentration bzw. der Calcium- und Schwefelkonzentration der untersuchten Sedimentproben von Langeoog.

### 5.1.6 Organische Summenparameter

#### TOC (Total Organic Carbon)

Der organisch gebundene Kohlenstoff ( $\text{C}_{\text{org}}$ ) dient zur summarischen Quantifizierung von heterogen zusammengesetzten organischen Feststoffen und ermöglicht eine Abschätzung der Adsorptionskapazität gegenüber Schadstoffen. Letztere basiert auf der Fähigkeit organischer Substanzen zum Kationenaustausch. Eine zentrale Rolle spielen dabei Huminstoffe, die sich in natürlichen Böden als höhermolekulare Zwischen- und Endprodukte biochemischer Abbaureaktionen entwickeln (RUMP 1998). Bei der Kationenadsorption werden Erdalkalitionen und in noch stärkerem Maße Fe-, Mn-, Al- und Schwermetallionen (z.B. Cu, Pb, Zn) bevorzugt, weil diese nicht nur elektrostatisch sondern spezifisch in Form von stabilen Komplexen gebunden werden können (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Infolge der hohen Sorptionskapazität sind Huminstoffe zusätzlich befähigt, mit unterschiedlichen organischen Molekülstrukturen, z.B. Pestiziden, Verbindungen einzugehen. Damit werden nicht nur Nährstoffe und Spurenelemente im Boden verfügbar gehalten, sondern auch dem Transport von Schadstoffen wird entgegengewirkt. Jedoch können die an wasserlösliche Anteile der Huminstoffe adsorbierten bzw. komplex gebundenen Stoffe mobilisiert werden und in das Grundwasser gelangen. Derselbe Effekt kann auftreten, wenn die Pufferkapazität des Bodens überschritten wird, es also zu pH-Veränderungen kommt (HÜTTER 1994).

Die Analyse des TOC erfolgte nach DIN EN 13137 mit dem C-Phasenanalysator RC 412 von LECO. Es wurden im Wesentlichen die Proben untersucht, die sichtbare organische Substanzen enthielten. Die ermittelten TOC-Gehalte der Sedimente weisen eine hohe Varianz zwischen 0,2 und 55 % auf (Tab. 5-2 und 5-3). Hohe Konzentrationen an organisch gebundenem Kohlenstoff werden erwartungsgemäß ausschließlich in den oberen Bodenhorizonten, den Humusauflagen, erreicht. Die Gehalte nehmen zur Tiefe stetig ab. Lediglich in der Probe L13/5, einem humosen, durchwurzelter Horizont in 0,68 - 0,73 m Tiefe u. GOK, der als

Paläoboden einzuordnen ist, wurde ein vergleichsweise hoher TOC-Gehalt von 4,7 % gemessen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse in den Tabellen 5-2 und 5-3 fällt auf, dass teilweise ein Zusammenhang zwischen den TOC-Gehalten sowie den pH-Werten und den Karbonatkonzentrationen des Sediments besteht. Das Angebot an organischer Substanz im oberflächennahen Bereich führt einerseits zu hohen TOC-Gehalten, andererseits erzeugt es beim Abbau durch Mikroorganismen ein saures Milieu, welches praktisch keine höheren Karbonatgehalte im Sediment zulässt.

#### AOX (Adsorbierbare Organische Halogene)

Halogenorganische Verbindungen sind oftmals anthropogener Herkunft und haben ein gemeinsames Gefährdungspotential, das sich u.a. aus folgenden unerwünschten Eigenschaften zusammensetzt: Persistenz, Toxizität und Akkumulierbarkeit (HOFFMANN et al. 1988). Das Abwasserabgabengesetz sieht in der Fassung von 1987 erstmals für die Schadstoffe und Schadstoffgruppen aus dem Bereich der Organohalogene den Gruppenparameter AOX als Abgabeparameter vor (ABWAG 1987). 1990 wurde AOX in die Liste der Schmutzfrachtparameter nach §3 des Abwasserabgabengesetzes aufgenommen, seit 1992 muss AOX nach §3 Abs.5 AbfKlärV auch in Klärschlämmen analysiert werden, wenn diese auf landwirtschaftlich genutzte Böden aufgebracht werden sollen. In DIN 38414-18 ist angegeben, wie AOX in Schlämmen und Sedimenten zu analysieren ist. Danach wurden die AOX in ausgewählten Sedimentproben mit dem TOX-10 von *Abimed* analysiert. Es ergaben sich stark variierende AOX-Gehalte zwischen  $< 1,0$  und  $35,6 \mu\text{g/kg}$  (Tab. 5-2 und 5-3). Generell nehmen die Konzentrationen analog zu den TOC-Gehalten von den oberflächennahen, humusreichen Horizonten zur Tiefe ab. Eine Ausnahme stellt die Probe L13/5 von Langeoog dar. Hier wurde im Bereich des Paläobodens eine erhöhte Konzentration an AOX ermittelt ( $16,4 \mu\text{g/kg}$ ), die sogar die im darüber liegenden, rezenten Ah-Horizont ( $0,4 - 9,1 \mu\text{g/kg}$ ) überschreitet. Auffällig ist die gute Korrelation zwischen den AOX- und TOC-Gehalten der Sedimentproben (Abb. 5-8).

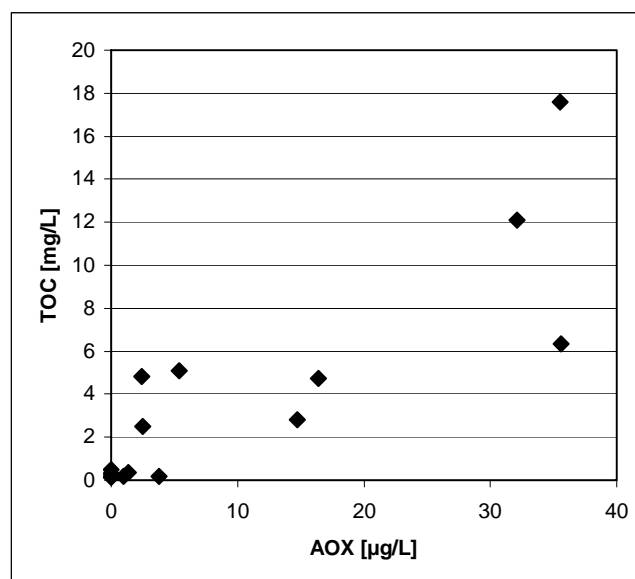


Abb. 5-8: Korrelation zwischen AOX und TOC ausgewählter Sedimentproben von Langeoog (L13, L19) und Norderney (N9, N18), Korrelationsfaktor: 0,85.



## 5.2 Hydrochemische Analysen

### 5.2.1 Meerwasser

Das die Ostfriesischen Inseln umgebende Meerwasser übt einen starken Einfluss auf die Grundwasserbeschaffenheit aus. Im Extremfall können Meerwassereinbrüche bei Sturmfluten oder Salzwasserintrusionen durch eine übermäßige Grundwasserförderung die Süßwasserlinse nachhaltig schädigen. Aber auch ohne diese Extrema ist eine marine Beeinflussung der nutzbaren Grundwässer deutlich gegeben. Zum Einen erfolgt ein Eintrag von Meerwasser in die Süßwasserlinse über Seaspray (Aerosole), zum Anderen über Diffusion an der Süß-/Salzwassergrenze. Für die Interpretation der Grundwasseranalysen von Langeoog und Norderney ist daher die Kenntnis der Zusammensetzung des Meerwassers unabdingbar. Aus diesem Grund wurden der Nordsee im Strandbereich Wasserproben entnommen, analysiert und mit Literaturdaten verglichen (Tab. 5-8). Die geringeren Natrium- und Chloridgehalte der Proben von Langeoog und Norderney lassen auf eine Verdünnung mit Süßwasser im Strandbereich schließen.

Tab. 5-8: Vergleich der Meerwasseranalysen von Langeoog (Probe vom 06.03.2001) und Norderney (Probe vom 09.05.2001) mit Literaturdaten.

	Langeoog	Norderney	Helgoland (BENDER 1984)	Meerwasser nach (DREVER 1988)
pH-Wert	8,0	8,0	7,2	n.g.
Spez. elektr. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	30 000	34 000	n.g.	n.g.
Chlorid [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	15 329	17 596	18 180	19 350
Nitrat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	n.a.	n.a.	0,2	0,005 - 2
Nitrit [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	n.a.	0,1	n.g.	n.g.
Sulfat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	3 293	3 020	2 520	2 710
Hydrogenkarbonat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	171	195	146	142
Natrium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	8 483	10 322	10 600	10 760
Kalium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	664	616	622	399
Ammonium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,2	0,3	n.g.	n.g.
Calcium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	606	602	401	411
Magnesium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	1 683	1 616	1 280	1 290
Eisen [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,5	0,5	< 0,1	2
Mangan [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,3	n.a.	n.g.	0,2
Aluminium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,2	0,2	n.g.	2
Adsorbierbare organische Halogene [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	n.a.	48	n.g.	n.g.
Gelöster organischer Kohlenstoff [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	n.a.	14	n.g.	0,3 - 2

n.a. ... nicht analysiert

n.g. ... nicht genannt

Nach HÜTTER (1994) haben sämtliche Weltmeere eine nahezu gleiche und konstante Zusammensetzung. Charakteristisch ist der im Vergleich zum Calciumgehalt deutlich erhöhte Magnesiumgehalt. Metalle sind im Meerwasser relativ wenig enthalten. Bei den gelösten organischen Verbindungen handelt es sich überwiegend um kurzlebige Abbauprodukte des

pflanzlichen und tierischen Stoffwechsels (HÜTTER 1994). Seine sehr schwach gelblich-grüne Eigenfarbe erhält das Meerwasser durch humusartige Stoffe und Algen.

### 5.2.2 Niederschlag

Über einen Zeitraum von August 2000 bis Juli 2001 wurden auf Langeoog zwölf Niederschlagsproben mittels eines freistehenden Niederschlagsmessgerätes der *Fa. Thies* gewonnen. Das Gerät wurde regelmäßig entleert, so dass eine Verweilzeit des Wassers von wenigen Tagen gegeben war. Zwei Proben konnten unmittelbar während Niederschlagsereignissen gewonnen werden. Die Zusammensetzung dieser Regenwässer weicht nicht wesentlich von den Sammelproben ab.

Im Allgemeinen sind die Regenproben von Langeoog mit einer spezifischen elektrischen Leitfähigkeit von gemittelt 38  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sehr schwach mineralisiert. Aufgrund des geringen Mineralstoffgehaltes von Niederschlagswässern, bewirkt bereits die  $\text{CO}_2$ -Sättigung in dem schwach gepufferten System einen relativ niedrigen pH-Wert (HÜTTER 1994). Hinzu können sauer wirkende anthropogene Verunreinigungen kommen. Die Niederschläge auf Langeoog schwanken in einem pH-Bereich von 4,9 bis 5,4, sind also schwach sauer. Ein Vergleich der durchschnittlichen Konzentrationen der Hauptbestandteile mit Literaturdaten zeigt den marinen Einfluss im Nordseeküstenbereich (Tab. 5-9).

Tab. 5-9: Vergleich der Regenwasseranalysen von Langeoog mit Literaturdaten.

	Langeoog Mittelwerte *	Regenwasser, küstenfernes Mitteleuropa (BENDER 1984)
pH-Wert	5,1	n.g.
Spez. elektr. Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	38	n.g.
Chlorid [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	8,4	1,1
Nitrat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	4,6	0,3
Nitrit [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,1	n.g.
Sulfat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	5,9	4,2
Hydrogenkarbonat [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	3,1	1,2
Natrium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	6,9	1,1
Kalium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	1,8	0,3
Ammonium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	1,6	n.g.
Calcium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	2,9	1,0
Magnesium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	1,2	0,4
Eisen [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0	n.g.
Mangan [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,1	n.g.
Aluminium [ $\text{mg}/\text{l}$ ]	0,2	n.g.
Adsorbierbare organische Halogene [ $\mu\text{g}/\text{l}$ ]	6,4	n.g.

\* Mittelwerte aus 12 Analysen von Niederschlagsproben gewonnen zwischen August 2000 und Juli 2001

n.g. ... nicht genannt

Deutliche Trends konnten in der Zusammensetzung der analysierten Proben nicht erkannt werden (Abb. 5-9 und 5-10). Es sind jedoch Abhängigkeiten zwischen der Mineralisation der

Niederschlagswässer und der Windrichtung und Windstärke zu erwarten. Je höher die Windgeschwindigkeit ist, desto größer ist die Fracht an Aerosolen. Niederschlagsereignisse bei Wind aus N- und NW-Richtung (vom offenen Meer, sehr hohe Salzgehalte im Wasser) sollten eine größere marine Beeinflussung zeigen als bei vergleichbarem Wind aus Richtung Wattenmeer bzw. Festland (geringere Salzgehalte im Wasser).

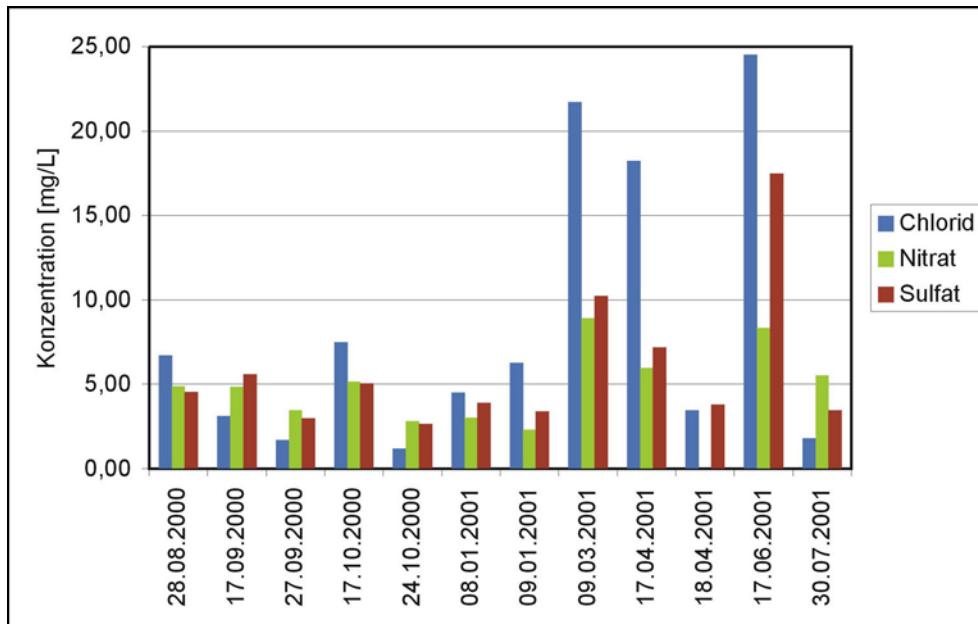


Abb. 5-9: Konzentration der Anionen in den Regenwasserproben von Langeoog.

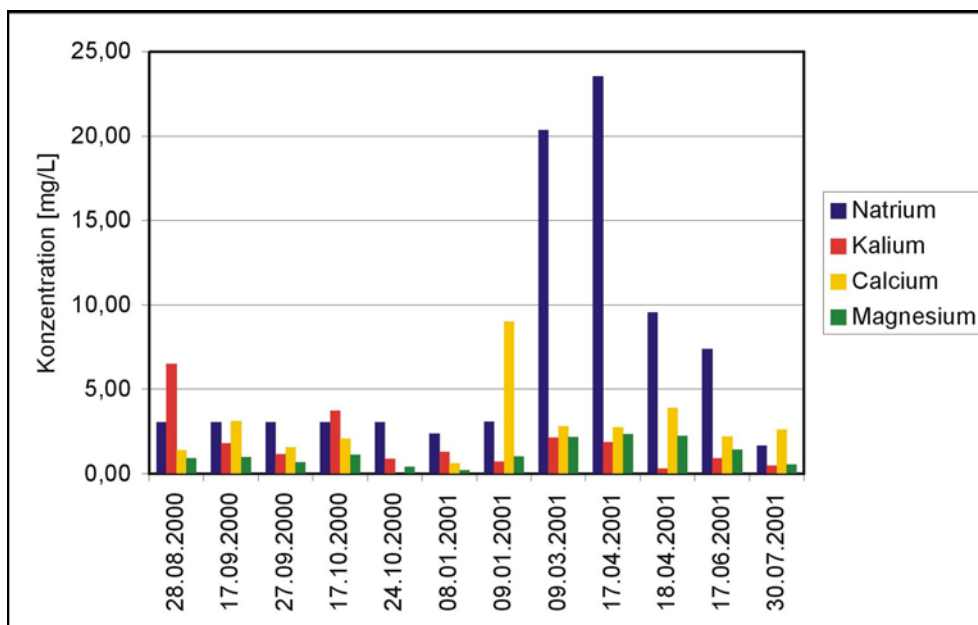


Abb. 5-10: Konzentration der Kationen in den Regenwasserproben von Langeoog.

### 5.2.3 Wasser der ungesättigten Zone

Im Folgenden soll der Chemismus der Wässer der ungesättigten Zone beschrieben werden. Dieses setzt sich zusammen aus dem freibeweglichen, der Schwerkraft unterliegenden Sickerwasser, dem adhäsiv an Bodenpartikel gebundenen Haftwasser und dem von der Grundwasseroberfläche aufsteigenden Kapillarwasser (GROHMANN 2002). Die Gesamtheit der Wässer wird auch als Bodenfeuchte bzw. Bodenwasser bezeichnet.

Zur Gewinnung von entsprechenden Wasserproben wurden 2001 an der Dauerbeobachtungsfläche L4 auf Langeoog drei Saugkerzen mit einer Länge von 0,58 m in den Boden eingebracht. Mit Hilfe einer Vakuumpumpe konnte ein Unterdruck (ca. 70 kPa) in den Kerzen erzeugt und freies Bodenwasser in angeschlossene Vakuumgefäße gesaugt werden. Die am 31.07.2001 gewonnenen Wasserproben wurden am Institut für Umweltgeologie der TU Braunschweig über Ionenchromatographie analysiert.

Parallel dazu wurden von der Arbeitsgruppe Pflanzenökologie, Fachbereich 7 der Universität Oldenburg (ARMBRÜSTER & JANIESCH 2003) von Februar bis November 2001 monatlich Bodenwasserproben zur pH-Wertbestimmung und für Teilanalysen mittels Atomabsorptionsspektrometrie entnommen. Die pH-Werte im Bodenwasser schwanken in einem Bereich zwischen pH 4,8 und 6,3. Die leicht sauren Verhältnisse sind auf den Abbau organischer Substanzen im oberflächennahen Bereich zurückzuführen. Mit einer gemittelten spezifischen elektrischen Leitfähigkeit von 105  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sind die Wässer sehr schwach mineralisiert. Jahreszeitliche Schwankungen in der Konzentration oder Verteilung der kationischen Wasserinhaltsstoffe wurden nicht deutlich. Diese sind aufgrund der Nutzung der Mineralstoffe durch den Pflanzenbewuchs wahrscheinlich.

Die Analyse aller Hauptbestandteile der Bodenwasserproben vom 31.07.2001 zeigte im Mittel die in Abb. 5-11 dargestellten Konzentrationen.

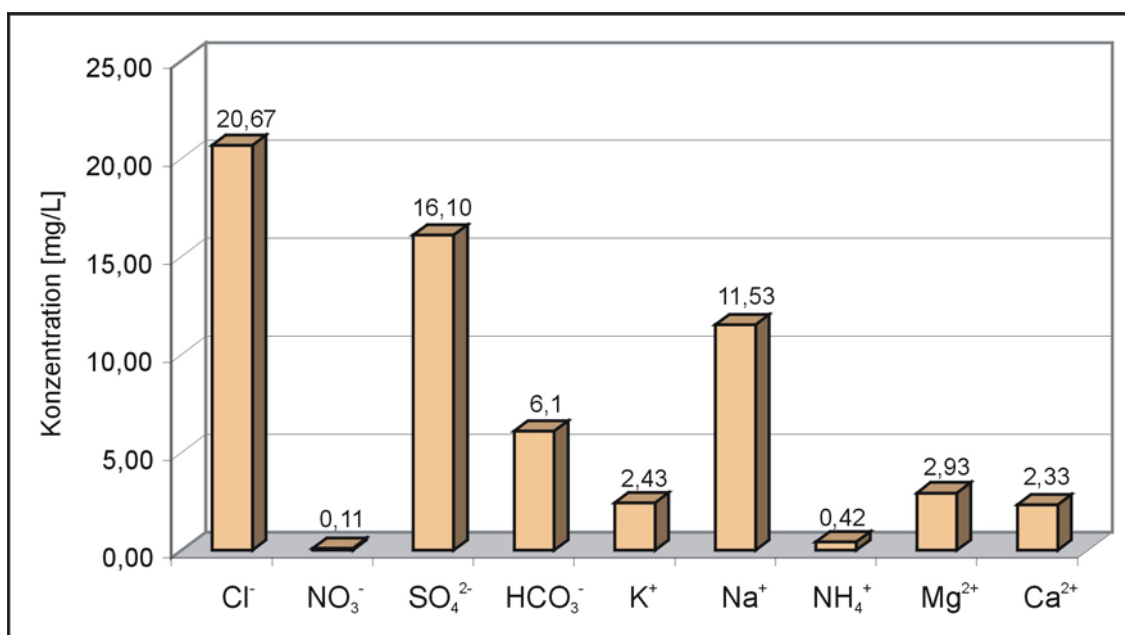


Abb. 5-11: Mittlere Konzentration der Hauptinhaltsstoffe in den Bodenwasserproben der DF L4 vom 31.07.2001 von Langeoog (n=3).

Metalle sind im Bodenwasser trotz der niedrigen pH-Werte nur in geringen Konzentrationen gelöst. Die Aluminiumgehalte liegen bei ca. 0,33 mg/l, die Eisengehalte bei 0,85 mg/l und die Mangangehalte bei 0,02 mg/l. Dies ist auf die sehr wahrscheinlich aeroben Bedingungen in der ungesättigten Zone zurückzuführen. Anorganisch gebundenes Eisen und Mangan liegen meist als schwerlösliche Oxide vor und werden somit kaum mit der Bodenlösung ausgewaschen (Kap. 5.1.5). Lediglich lösliche organische Komplexbildner und Chloride machen diese Elemente mobil.

Bezüglich organischer Verbindungen wurde das Bodenwasser ausschließlich auf AOX untersucht. Die Konzentrationen sind mit ca. 26,47 µg/l leicht erhöht. Nach HÖLTING (1996) ist von einer mäßigen Belastung zu sprechen. AOX werden in geringen Konzentrationen bereits über das Niederschlagswasser eingetragen (Kap. 5.2.2). Zusätzlich kann AOX durch die Halogenierung organischer Substanzen entstehen oder anthropogen bedingt sein (Kap. 6).

## 5.2.4 Grundwasser

Im Folgenden sollen die hydrochemischen Untersuchungen der Wässer der gesättigten Grundwasserzone und deren Ergebnisse beschrieben und interpretiert werden. Da sowohl der Oldenburgisch Ostfriesische Wasserverband als auch die Wirtschaftsbetriebe Norderney GmbH bei der Trinkwasseraufbereitung vollständig auf die Verwendung von Chemikalien verzichten, das Grundwasser also lediglich gefiltert und belüftet wird, orientierte sich die Parameterauswahl der Grundwasseruntersuchungen an den Bestimmungen der derzeit gültigen Trinkwasserverordnung von 2001 (TRINKWV 2001) und der EG-Trinkwasserrichtlinie von 1998 (DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 1999, TROGEMANN 2000).

### 5.2.4.1 Organoleptische Prüfungen

Eine organoleptische Prüfung beinhaltet die Parameter Farbe, Trübung, Geruch und Geschmack der Wasserproben.

Enthält das Wasser feindispersive, suspendierte Teilchen, verringert sich die Durchsichtigkeit und das eingestrahlte Licht wird gestreut. Diese Eigenschaft wird als Trübung bezeichnet (HÜTTER 1994). Eine Färbung wird durch die im Wasser gelösten Stoffe hervorgerufen, einschließlich der durch die Anwesenheit ungelöster, feindispersiver Stoffe bedingten Effekte. Trinkwasser sollte farblos und klar sein. Aus Moorböden ausgeschwemmte Huminstoffe verleihen dem Wasser eine gelbliche oder bräunliche Färbung (HÜTTER 1994).

Viele der untersuchten Grundwasserproben wiesen eine deutliche Trübung auf. Dazu trugen u.a. weiße Flocken (Schimmelpilze), schwarze Partikel und weiße, glänzende Partikel (Quarzkörner) bei. Durch gelöste Huminstoffe ist das Grundwasser meist gelblich gefärbt. Besonders intensiv ist diese Färbung bei den Grundwässern der DF. Als Trinkwasser aufbereitet, zeigt das Wasser noch immer eine leichte gelbliche Färbung. Die im Trinkwasser verbleibenden Huminstoffe sind hygienisch unbedenklich.

Der Geruch ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Wasserqualität und kann Hinweise auf Milieubedingungen und Schadstoffe geben. Ein etwaiger Geruch nach Schwefelwasserstoff ( $H_2S$ ) ist charakteristisch für reduzierte Grundwässer. Häufig verursachen Algen und andere Mikroorganismen eine Geruchsbildung, z. B. wird durch das Wachstum von Blaualgen ein erdiger Geruch hervorgerufen (HÜTTER 1994). Auf Norderney wiesen die Messstellen NY8/1 und NY8/2 neben einer starken Gelbfärbung auch ein deutlicher phenolartiger Geruch auf. Ansonsten wurde häufig ein teils starker Geruch nach  $H_2S$ , resultierend aus dem Abbau der organischen Substanzen unter den gegebenen Milieubedingungen, festgestellt.

Bei der Prüfung auf Geschmack zeigte sich, dass stark nach  $\text{H}_2\text{S}$  riechende Wässer meist einen fauligen Geschmack hatten, während gelb gefärbte Wässer fast immer metallisch schmeckten, wobei die Intensität des Geschmacks proportional mit der Färbung zunahm.

#### 5.2.4.2 Physikalische und physikalisch-chemische Parameter

Die Milieuparameter Temperatur, pH-Wert, Redoxpotential und die spezifische elektrische Leitfähigkeit wurden während der Probennahme in einer Durchflussmesszelle mit Messelektroden von WTW gemessen. Die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes erfolgte in situ im Filterbereich der Messstellen ebenfalls mit einer WTW-Messelektrode.

##### 5.2.4.2.1 Temperatur

Die Temperatur wurde zusammen mit dem pH-Wert mittels einer elektronischen Messsonde (WTW pH 191) bestimmt.

Nach SCHLEYER & KERNDORF (1992) liegt die Temperatur von Grundwasser in gemäßigten Breiten in 10 m Tiefe im Lockersediment zwischen 9,1 und 11,5°C. Abweichungen von diesen Werten im Winter, wenn die Temperatur des Grundwassers unter 9,1°C sinkt, bzw. im Sommer, wenn die Temperatur 11,5 °C übersteigt, lassen auf Beeinflussungen durch versickerndes Niederschlagswasser von der Geländeoberfläche schließen.

Die tieferen Messstellen weisen bezüglich der Temperaturen eine gewisse Konstanz auf und liegen größtenteils innerhalb der von SCHLEYER & KERNDORF (1992) definierten Grenzen. Die flachen Messstellen der DF zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Jahreszeit, bedingt durch die Oberflächennähe (Lufttemperatur, Zutritt von Oberflächenwasser) (Abb. 5-12).

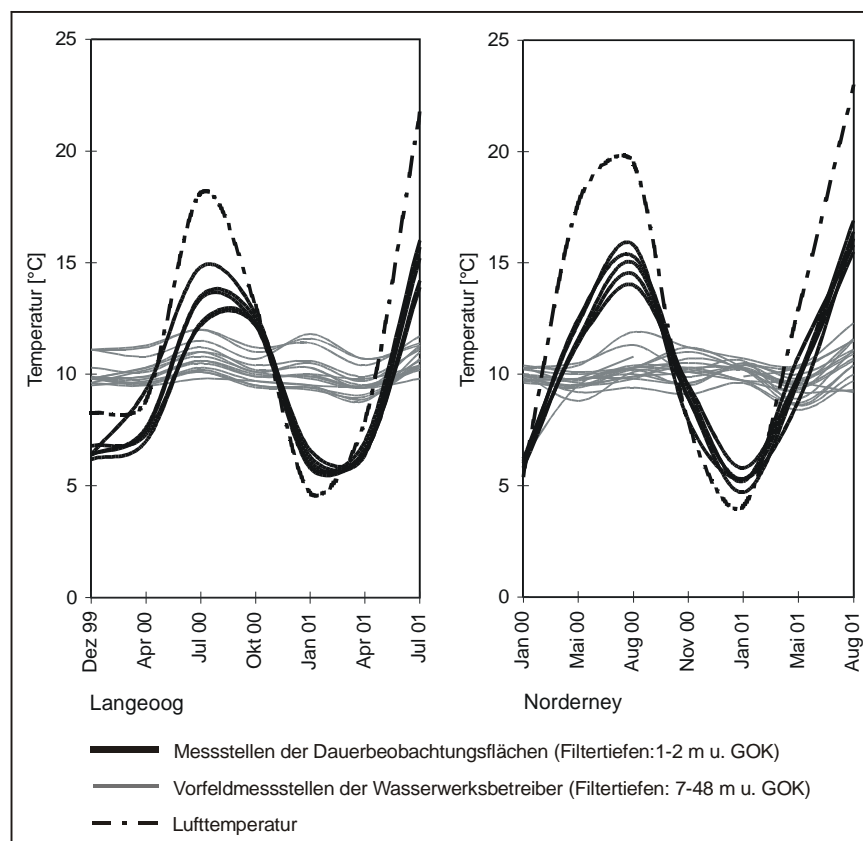


Abb. 5-12: Temperaturverläufe der Grundwässer in den Vorfeldmessstellen und den Messstellen der DF.

#### 5.2.4.2.2 pH-Wert

Der pH-Wert stellt einen wichtigen Parameter zur Festlegung des hydrochemischen Milieus dar. Welchen pH-Wert ein Wasser aufweist, hängt hauptsächlich vom druckabhängigen Stoffmengenverhältnis der freien Kohlensäure zum Hydrogencarbonat im Wasser sowie von den Mineralkomponenten des Grundwasserleiters ab. Die in natürlichen Gewässern enthaltenen Hydrogencarbonate puffern die Kohlensäure, es entsteht ein Säure-Base-Gleichgewicht. Der pH-Wert von Grundwasser bewegt sich deswegen überwiegend in einem relativ engen Bereich von 5,5 bis 8,0 (VOIGT 1990). Nach der TRINKWV (1990) soll der pH-Wert zwischen pH 6,5 und 9,5 liegen, die TRINKWV (2001) gibt hierzu keine Werte mehr an.

Die Löslichkeit vieler Stoffe sowie deren Ionenkonzentrationen hängt vom pH-Wert ab. Es gibt nur wenige Ionen, wie  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{Cl}^-$ , die fast über die ganze Breite der pH-Werte gleich löslich bleiben. Metall-Ionen weisen amphotere Eigenschaften auf, d.h. diese sind in sauren Grundwässern als Kationen löslich, fallen aber bei zunehmender Alkalisierung als Hydroxide oder basische Salze wieder aus. Bei weiter steigendem pH-Wert gehen die Metall-Ionen dann unter Bildung von basischen Komplex-Verbindungen wieder in Lösung (HÖLTING 1996). Überdies wird auch die Toxizität einiger Wasserinhaltsstoffe vom pH-Wert bestimmt und beruht z.T. auf Gleichgewichtsverschiebungen ( $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ ;  $\text{H}_2\text{S}/\text{HS}^-/\text{S}^{2-}$ ) oder anderen Effekten.

Gleichzeitig ist der pH-Wert selbst Einflüssen und Veränderungen unterworfen. So können gelöste Stoffe eine Änderung bewirken, da sich einige dissoziierte Ionen mit den  $\text{H}^+$ - oder  $\text{OH}^-$ -Ionen verbinden. Hydrogencarbonathaltige Wässer verschieben den pH-Wert in den basischen Bereich, da diese  $\text{H}^+$ -Ionen binden (MATTHESS 1994). Das Ausmaß der Änderung des pH-Wertes hängt zum größten Teil von der Pufferungskapazität des Wassers ab. Darüber hinaus wird der pH-Wert von der Temperatur gesteuert. Unterschiede der pH-Werte im Grundwasser resultieren auch aus den verschiedenen geologischen Gegebenheiten.

In Grundwasserleitern mit erhöhtem Karbonatanteil ist der pH-Wert eher basisch (pH-Wert  $> 7$  und  $< 9$ , HÜTTER 1994). Dies ist bei den Vorfeldmessstellen auf den betrachteten Inseln mit pH-Werten von 7,0 bis 8,6 der Fall. In den oberflächennah verfilterten Messstellen der DF herrschen leicht saure Verhältnisse (pH 4,3 – 6,9) vor, hervorgerufen durch gelöste Säuren, z.B. Kohlensäuren und organischen Säuren, die bei der Verwitterung von Pflanzenresten und anderer organischer Substanz entstehen. Ein Eintrag von Säuren erfolgt auch über den versickernden Niederschlag und Oberflächengewässer. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und der Tiefe (Abb. 5-13).

#### 5.2.4.2.3 Redoxpotential

Das Redoxpotential steuert wie auch der pH-Wert viele chemische aber auch biologische Prozesse im Wasser. Dabei werden anaerobe Vorgänge durch niedrige Redoxpotentiale angezeigt. In den Vorfeldmessstellen von Langeoog wurden vorwiegend negative Eh-Werte gemessen, dagegen liegen die Redoxpotentiale der Vorfeldmessstellen von Norderney sowie der DF beider Inseln fast vollständig im positiven Bereich mit Werten bis zu 505 mV (Abb.5-14).

Das Redoxpotential kann, analog zum pH-Wert, auch als  $p\varepsilon$ -Wert angegeben werden:

$$p\varepsilon = \frac{E_h}{E_N}$$

$E_N$  = NERNST-Spannung (temperaturabhängig, für 25°C:  $E_N \approx 59,1$  mV).



Die für die Untersuchungsgebiete berechneten  $p\epsilon$ -Werte zeigen (Anhang 4), dass in den Grundwässern der Untersuchungsgebiete indifferente bis schwach reduzierende Milieubedingungen dominieren.

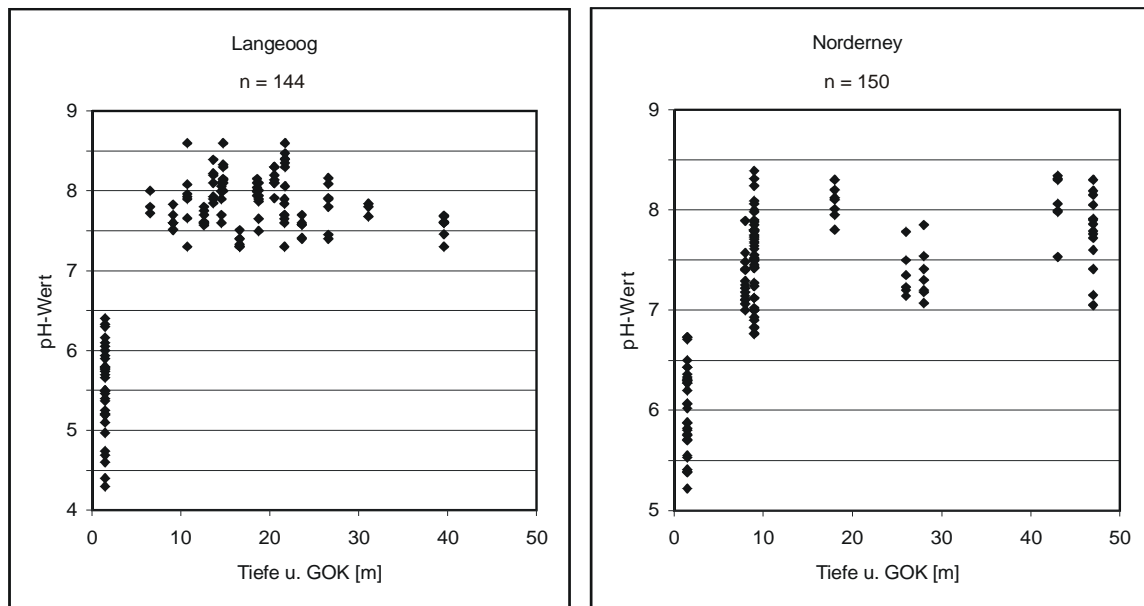


Abb. 5-13: pH-Werte der Grundwässer von Norderney und Langeoog in Abhängigkeit von der Tiefe.

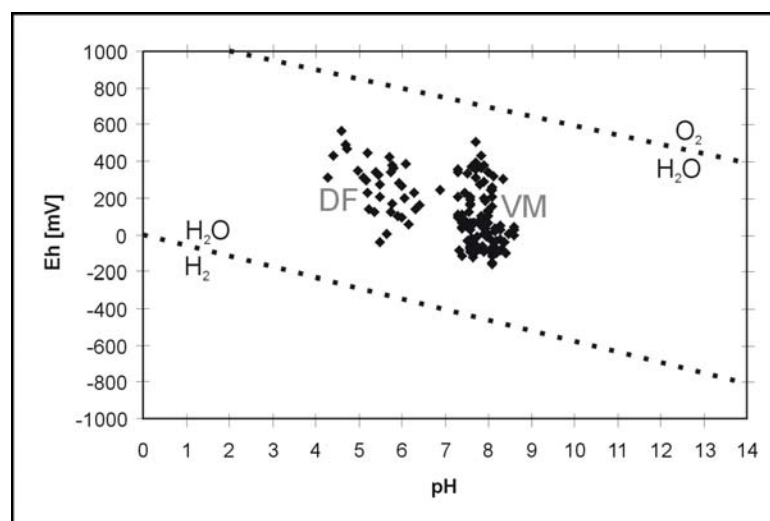


Abb. 5-14: Eh-pH-Diagramm der Grundwässer von Langeoog (n=144).

#### 5.2.4.2.4 Sauerstoffgehalt

Das Redoxpotential und der Sauerstoffgehalt eines Wassers hängen eng zusammen. Sauerstoff gelangt über das Sickerwasser oder biogene Produktion ins Grundwasser. Demnach sind oberflächennahe Grundwässer häufig an Sauerstoff gesättigt, es sei denn, es herrscht eine starke Sauerstoffzehrung vor. Dies kann durch die Oxidation von organischen Verbindungen (z.B. Torf) oder Fe(II)- und Mn(II)-Verbindungen bewirkt werden.

Alle im Rahmen des Projektes untersuchten Grundwässer sind sauerstoffuntersättigt. Die Gehalte an Sauerstoff schwanken dabei von 0 mg/l im Bereich der Vorfeldmessstellen bis hin zu maximal 9,5 mg/l in den Wässern der DF. Es herrschen überwiegend anaerobe Verhältnisse vor. Die zu erwartende Korrelation zwischen den Sauerstoffgehalten und dem Redoxpotential konnte nur für die Wässer der DF überprüft werden und ist hier nur schwach sichtbar (Abb. 5-15). Die höchsten Sauerstoffkonzentrationen wurden im April 2001 gemessen. Es scheint einen Zusammenhang mit der Grundwasserneubildung zu geben. So sind die Sauerstoffgehalte im Winter und Sommer oft geringer als im Frühjahr oder Herbst.

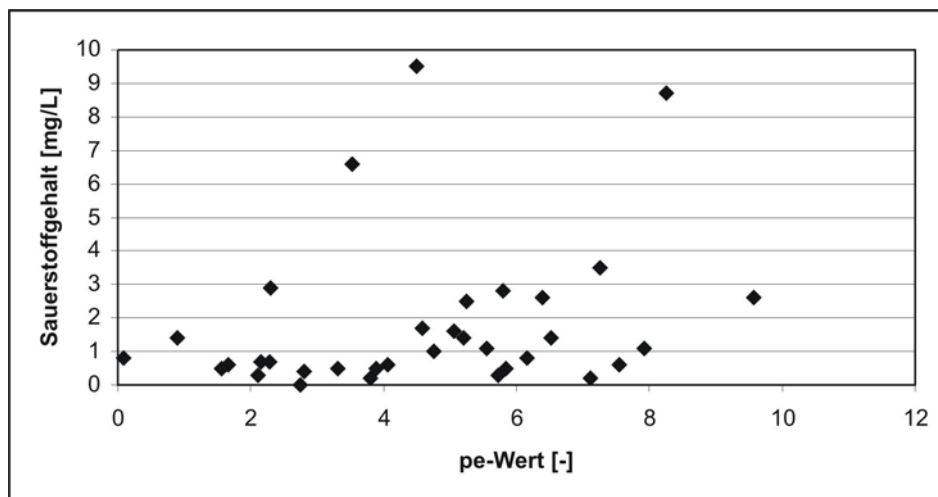


Abb. 5-15: Zusammenhang zwischen Sauerstoffgehalt und pe-Wert der Grundwässer der DF von Langeoog (n=34).

#### 5.2.4.2.5 Spezifische elektrische Leitfähigkeit

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit ist ein Summenparameter für gelöste, dissoziierte Stoffe und somit abhängig von der Konzentration und dem Dissoziationsgrad der Elektrolyte, der Temperatur und der Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen im elektrischen Feld. Diese wird ausgedrückt durch den reziproken Wert des elektrischen Widerstandes bezogen auf einen Wasserwürfel von 1 cm Kantenlänge bei 25 °C (RUMP 1998); die Einheit ist  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Die Grundwasserproben der VM von Langeoog und Norderney liegen mit spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten zwischen 212 und 1452  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nach HÜTTER (1994) im Bereich schwach bis gut mineralisierter süßer Grundwässer. Die Grundwässer der DF zeigen dagegen mit durchschnittlichen spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten um 200-400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  eine geringere Mineralisation. Einen Einfluss auf die Mineralisation der Grundwässer scheint zudem die Mächtigkeit der Süßwasserlinse zu haben. Auf Langeoog steigen die spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten mit zunehmender Tiefe und damit Nähe zur Süß-/Salzwassergrenze an (Abb. 5-16). Die Vorfeldmessstellen von Norderney sind dagegen aufgrund der großen Mächtigkeit der Süßwasserlinse weit oberhalb der Süß-/Salzwassergrenze verfiltert. Hier dominieren im Wesentlichen Einflüsse von der Geländeoberfläche die Trinkwasserqualität.

Nach SCHLEYER & KERNDORFF (1992) sollten Lockergesteine ohne anthropogene Beeinflussung spezifische elektrische Leitfähigkeiten zwischen 260-660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aufweisen. Dass diese Richtgrößen auf beiden Inseln zum Teil erheblich überschritten werden, ist auf den Eintrag mariner Aerosole und anderer Meerwassereinflüsse zurückzuführen.

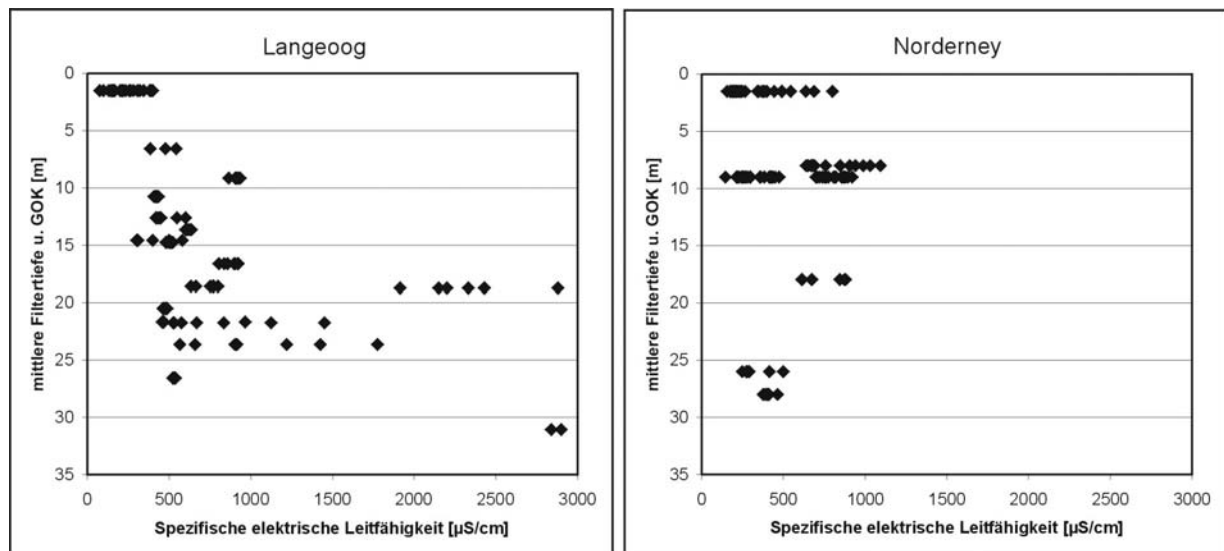


Abb. 5-16: Zusammenhang zwischen spezifischer elektrischer Leitfähigkeit und Tiefe der Grundwässer unter der Geländeoberfläche.

Besondere Auffälligkeiten zeigten auf Norderney die Vorfeldmessstellen SN3 (Filter: 7,00 – 9,00 m u. GOK) und B37/4 (Filter: 8,00 – 10,00 m u. GOK). Während sich bei allen anderen Vorfeldmessstellen bei der Probenahme nach kurzer Zeit ein stabiler Wert der Leitfähigkeit einstellte, nahm bei diesen Messstellen die spezifische elektrische Leitfähigkeit während des Abpumpens stetig zu bis hin zu Werten über 1093  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (SN3 im November 2000). Da beide Messstellen relativ flach verfiltert sind, ist ein Ansaugen von Wässern aus der die Süßwasserlinsen umgebenden Brackwasserzone sehr unwahrscheinlich. Anthropogene Einflüsse können nicht ausgeschlossen werden. Jedoch liegen die gemessenen spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten weit unter dem Grenzwert der TRINKWV (2001) von 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bei 20°C.

Auf Langeoog reichen zwei der beprobten Vorfeldmessstellen bis in die Brackwasserzone. Die spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten von 106u (Filter: 18,50 - 19,50 m u. GOK) betragen im Durchschnitt 2333  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , die von 130u (Filter: 31,50 – 46,50 m u. GOK) im obersten Filterbereich 2900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Im unteren Abschnitt dieser über viele Meter verfilterten Messstelle können Werte von über 9000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ermittelt werden.

#### 5.2.4.2.6 Wasserhärte, Hydrogenkarbonatgehalt

Wesentliche geohydrochemische Eigenschaften eines Wassers werden durch seine Gehalte an Karbonat, Hydrogenkarbonat und freier Kohlensäure bestimmt, die nach dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht voneinander abhängen (HÖLTING 1996).

Ermittelt werden diese Parameter über das Aufnahmevermögen von 100 ml Wasserprobe für Säuren (0,1 N HCl) bis pH 8,2 bzw. 4,3 sowie für Basen (0,1 N NaOH) bis pH 8,2.

Liegt der pH-Wert der Probe unterhalb von 8,2, wie es bei den im Rahmen dieses Forschungsprojektes untersuchten Wässern der Fall ist, errechnet sich der Gehalt an  $\text{HCO}_3^-$  nach HÖLTING (1996) durch Multiplikation des Säureverbrauchs in [ml] mit dem Faktor 61. Aus der Basekapazität bis pH 8,2 multipliziert mit dem Faktor 44 ergibt sich der Gehalt an gelöster freier Kohlensäure unter der Annahme, dass der Säuregehalt natürlicher Wässer weitgehend durch diese bestimmt wird. Da die Wässer der Untersuchungsgebiete jedoch reich an organischen Säuren sind, die bei der eben genannten Berechnung miterfasst werden, wurde auf die Angabe der freien Kohlensäure verzichtet.

Die Wasserhärte ist die Bezeichnung für den Gehalt an bestimmten, durch die Härtebezeichnung festgelegten Ionen. Verwendet wurde die Einheit deutsche Härte (dH), welche mit  $1^\circ\text{dH} = 10 \text{ mg/l CaO}$  definiert wird (HÖLTING 1996).

Als Gesamthärte wird der Gehalt an Erdalkalien (CaO und MgO) bezeichnet, als Karbonathärte der Gehalt an Hydrogenkarbonaten ( $\text{HCO}_3^-$ ). Die Gesamthärte wurde meist über titrimetrische Schnelltests bestimmt, bei stark gefärbten Wässern wurde diese nach der Analyse aus den Massenkonzentrationen errechnet:

$$^\circ\text{dH} = \frac{(\text{CaO} + 1,4\text{MgO})\text{mg/l}}{10} \quad (\text{HÖLTING 1996}).$$

Die Beurteilung eines Wassers nach seiner Härte wurde wie folgt vorgenommen (Tab. 5-10):

Tab. 5-10: Qualifikation eines Wassers hinsichtlich der Härte (KLUT & OLSZEWSKI 1945).

<u>Gesamthärte (°dH)</u>	<u>Härteäquivalent (mmol/l)</u>	<u>Beurteilung</u>
< 4	< 1,43	sehr weich
4 - 8	1,43 - 2,86	weich
8 - 12	2,86 - 4,28	mittelhart
12 - 18	4,28 - 6,43	etwas hart
18 - 30	6,43 - 10,71	hart
> 30	> 10,71	sehr hart

Die Gesamthärten der Grundwasserproben von Langeoog schwanken zwischen sehr weich bis etwas hart (3–18 °dH) bei den Vorfeldmessstellen, die Wässer der DF dagegen sind eher sehr weich bis weich (1–7 °dH). Eine Ausnahme bildet die VM 130u mit einer Gesamthärte bis zu 31 °dH, d.h. sehr hartem Wasser. Auf Norderney weisen die Grundwässer im Durchschnitt eine höhere Härte auf, der Maximalwert der Vorfeldmessstellen liegt bei 20 °dH. Auch hier gibt es Ausnahmen, das Wasser von SN3 ist mit Härten bis zu 26 °dH hart, das von NY8/1 mit bis zu 36 °dH sogar sehr hart. Die Wässer der DF zeigen auf Norderney analog zu Langeoog deutlich geringere Gesamthärten zwischen 1–7 °dH.

Um die Karbonathärte und den Hydrogenkarbonatgehalt ausrechnen zu können, wurde unmittelbar nach der Probenahme die Säurekapazität titrimetrisch ermittelt. Die Karbonathärte ergibt sich aus dieser durch Multiplikation mit dem Faktor 2,8. Auf den Inseln werden Karbonathärten zwischen 0,1 und 19 °dH, wobei die Wässer der DF im unteren Drittel dieses Intervalls anzusiedeln sind.

Bei nicht wenigen Messstellen überschreitet die Karbonathärte die Gesamthärte. Als Ursache können Ionenaustauschvorgänge in Betracht gezogen werden (vgl. Kap. 6.2.1).

### 5.2.4.3 Wasserinhaltsstoffe

Für die Bestimmung der Wasserinhaltsstoffe kamen verschiedene Messmethoden zum Einsatz.

Die Anionen  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  (DIN EN ISO 10304-1) wurden ebenso wie die Kationen  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  und  $\text{Mg}^{2+}$  mittels Ionenchromatographie (METROHM/IC 690) erfasst. Spektralphotometrisch erfolgte die Messung von  $\text{Fe}^{2+}$  (DIN 38406-1),  $\text{Mn}^{2+}$  (DIN 38406-2),  $\text{Al}^{3+}$  (DIN 38406-9) sowie  $\text{NO}_2^-$  (DIN EN 26777) und  $\text{NH}_4^+$  (DIN 38406-5) (PERKIN ELMER/UV/VIS-Spektrometer LAMBDA 2). Die oft stark gefärbten Wässer der DF wurden nach DIN 38406-22 mit der ICP-OES (ARL/3520, FISIONS/MAXIM) analysiert. Dabei konnten neben den oben genannten Inhaltsstoffen auch die Schwermetalle Cu, Ni, Zn und Co sowie der Phosphatgehalt ermittelt werden. Einen Überblick über die zu erwartenden

Häufigkeiten wichtiger Inhaltsstoffe und deren Konzentrationen in unbeeinflussten Grundwässern gibt Abbildung 5-17.

Zusätzlich zu den bereits genannten anorganischen Inhaltsstoffen finden sich in natürlichen Wässern eine große Menge gelöster organischer Stoffe, die meist nur als Summenparameter erfassbar sind. Da eine Vielzahl organischer Substanzen gewässerbelastend wirken und anthropogener Herkunft sind, ist es sinnvoll, die Wässer auf entsprechende Parameter zu untersuchen. Im Rahmen des Projektes wurden deshalb Analysen zur Erfassung der Summen- bzw. Gruppenparameter DOC nach DIN EN 1484 (CARLO ELBA/TCM 480) und AOX nach DIN 38409-14 (ABIMED/TOX 10) durchgeführt.

Mit zunehmender Tiefe eines Grundwassers nimmt die Intensität der Variation der Inhaltsstoffe meist ab (DVWK 128 1992). Dies trifft auf die Ostfriesischen Inseln aufgrund der isolierten Süßwassersysteme nur bedingt zu. Die chemische Variation nimmt hier mit zunehmender Tiefe zunächst ab, um in der Nähe der Süß-/Salzwassergrenze wieder zu steigen. Dieser Effekt wird besonders auf Langeoog deutlich, da hier die Filterstrecken der VM bis nah an die Süß-/Salzwassergrenze reichen (vgl. Kap. 5.2.4.2).

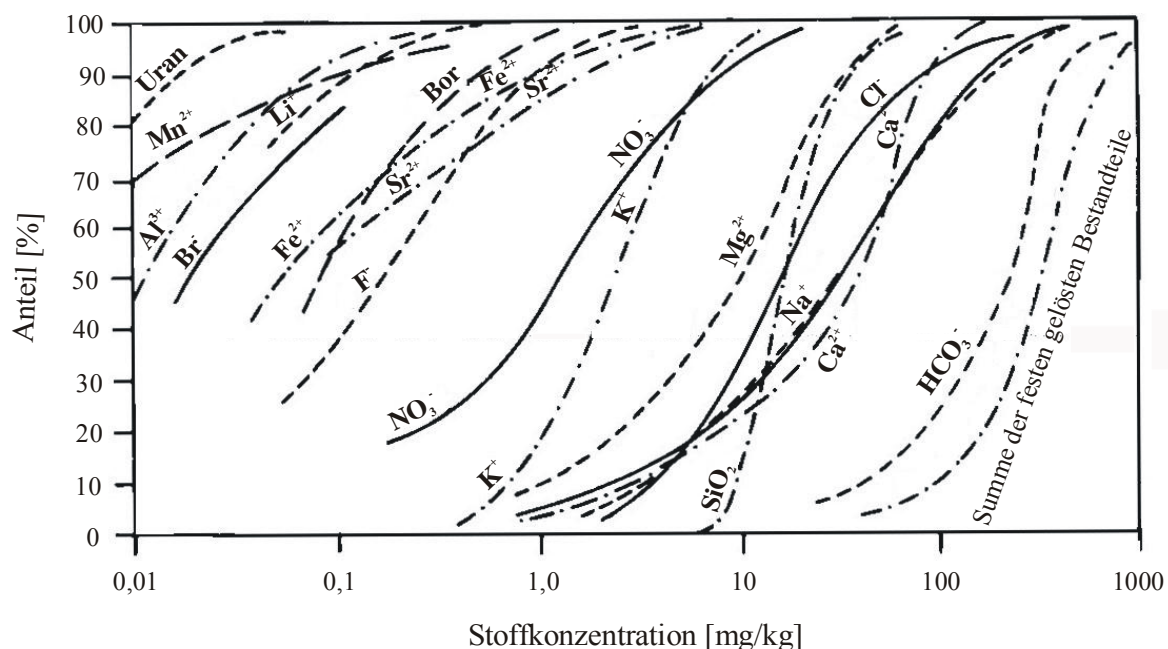


Abb. 5-17: Summenkurven der Häufigkeitsverteilung wichtiger Inhaltsstoffe im Grundwasser von Trinkwasserqualität (DAVIS & DE WIEST 1967).

#### 5.2.4.3.1 Kationen

Von den **Alkalimetallen** treten Natrium und Kalium als Hauptinhaltsstoffe auf, Lithium zählt zu den Spurenelementen und konnte im Rahmen des Forschungsprojektes nicht nachgewiesen werden. Die z.T. hohen Natriumkonzentrationen sind sowohl auf die Häufigkeit dieses Elements in der Geosphäre als auch auf die gute Löslichkeit von Natriumverbindungen zurückzuführen. Dies spiegelt sich v.a. in den durch marine Aerosole beeinflussten Grundwässern der Ostfriesischen Inseln mit durchschnittlichen Natriumgehalten zwischen 50 und 200 mg/l wieder. Messstellen die bis in die unterlagernde Brackwasserzone reichen, weisen Gehalte bis zu 827 mg/l auf und liegen damit über dem Grenzwert der TRINKWV (2001) von 200 mg/l. Erwartungsgemäß besteht ein enger Zusammenhang zwischen den Natrium- und Chloridkonzentrationen im Grundwasser (Abb. 5-18).

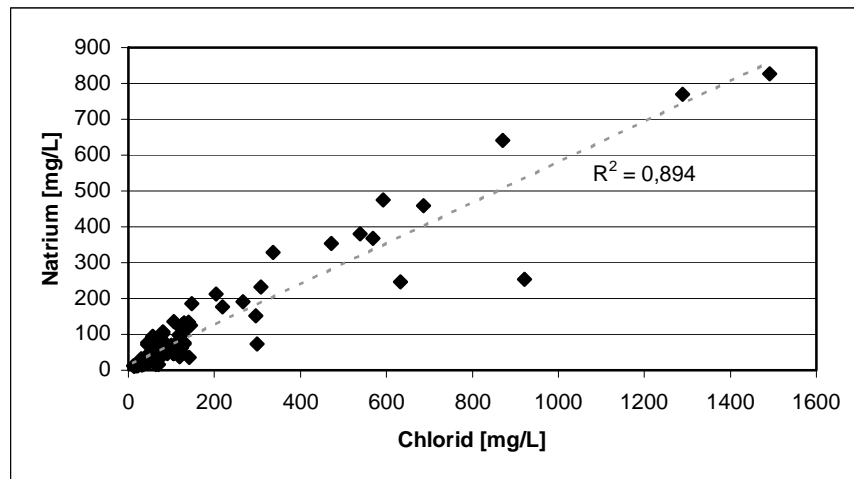


Abb. 5-18: Zusammenhang zwischen Natrium und Chlorid am Beispiel des Grundwassers von Langeoog (n=146).

Auch Kalium gehört zu den Hauptbestandteilen des Meerwassers, wenn auch in geringerer Menge als Natrium. Trotzdem liegen die gemessenen Werte auf den Inseln meist unterhalb von 10 mg/l, ein Grenzwert nach TRINKWV (2001) existiert nicht.

Die **Erdalkalimetalle** Calcium und Magnesium zählen ebenfalls zu den wichtigsten Inhaltsstoffen natürlicher Wässer. Calcium ist das fünfthäufigste Element der Erdkruste und Bestandteil vieler gesteinsbildender Minerale. Die Grundwasserleiter an der Nordseeküste sind häufig reich an karbonatischen Schalenbruchstücken. So können auf den Inseln Langeoog und Norderney Calciumgehalte bis zu 185 mg/l (SN7, Nov. 2000) auftreten. Da Calciumkarbonat als Säurepuffer wirkt, ist ein Zusammenhang mit dem pH-Wert gegeben (Abb. 5-19). Im Bereich der Vorfeldmessstellen streuen die  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentrationen je nach dem Kalkgehalt der Sedimente stark. Die oberflächennahen Grundwasserleiter (DF), bestehend aus Dünenansanden, enthalten primär meist nur wenig Karbonat und sind zudem bereits stark entkalkt.

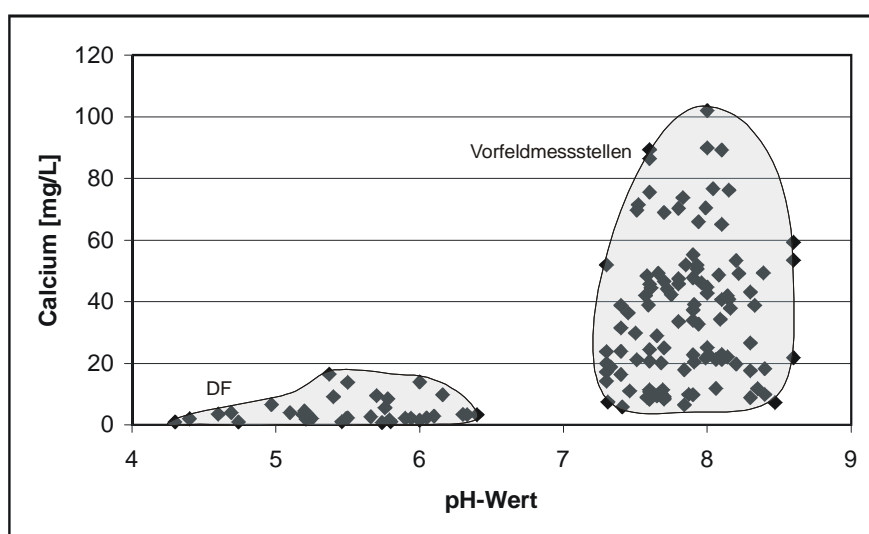


Abb. 5-19: Zusammenhang zwischen der Calcium-Konzentration und dem pH-Wert am Beispiel der Grundwässer von Langeoog (n=143).

Magnesium ist weniger häufig als Calcium. Somit liegen die gemessenen Konzentrationen nur in Bereichen zwischen 5 und 50 mg/l. Ausnahmen bilden die im Brackwasser verfilterten Messstellen 106u und 130u von Langeoog mit Magnesiumgehalten bis zu 105 mg/l. Hierbei übersteigen die Magnesiumkonzentrationen die des Calciums, wie es für Meerwasser typisch ist.

Die **Metalle** Eisen und Mangan treten in anaeroben wässrigen Lösungen als  $\text{Fe}^{2+}$ - und  $\text{Mn}^{2+}$ -Ionen auf. Bei Anwesenheit von Sauerstoff können Eisen und Mangan auch in oxidiert, unlöslicher Form vorkommen und z.B. als Eisenhydroxid oder Manganhydroxid bzw. -dioxid ausfallen. Weiterhin spielen mikrobielle Tätigkeiten eine große Rolle. So wird durch Mikroorganismen die Oxidation bei aeroben Verhältnissen bzw. die Reduktion dieser Metalle unter anaeroben Bedingungen katalytisch beschleunigt (MATTHESS 1994). In huminstoffreichen Wässern kommt Eisen zudem in komplexer organischer Bindung vor.

Für die quartären Grundwasserleiter Norddeutschlands sind erhöhte Eisengehalte typisch (WOLFF 1990). Dies liegt zum einen an dem hohen Anteil von Eisenmineralen im Sediment, zum anderen an den oftmals niedrigen pH-Werten aufgrund geringer Kalkgehalte oder hoher organischer Anteile im Boden. Der Grenzwert für Trinkwasser liegt bei 0,2 mg/l (TRINKWV 2001), ab 0,3 mg/l Eisen treten Geschmacksbeeinträchtigungen auf. Dieser Wert wurde in den Grundwässern der Untersuchungsgebiete vielfach überschritten. Die Wässer der Vorfeldmessstellen erreichen Gehalte von maximal 5 mg/l  $\text{Fe}^{2+}$ . Diese hohen Werte sind auf die anaeroben, reduzierenden Verhältnisse der Grundwässer zurückzuführen. Die stark gelb gefärbten, sauren Grundwässer der DF enthalten durchschnittlich 18 mg/l Eisen, L13 auf Langeoog sogar bis zu 62 mg/l. Hier treten Huminstoffe als Komplexbildner auf und stabilisieren das Eisen in seiner zweiwertigen Form, was zu den hohen Konzentrationen im Wasser führt. Eine deutliche Korrelation zwischen der Färbung der Wässer und dem Eisengehalt konnte jedoch nicht nachgewiesen werden (Korrelationsfaktor  $\approx 0,6$  für DF Langeoog bei  $n=35$ ), ebenso wenig wie eine signifikante Korrelation zwischen dem Eisengehalt und dem pH-Wert (Korrelationsfaktor  $\approx 0,7$  für Langeoog bei  $n=145$ ). Trotzdem werden Zusammenhänge deutlich (Abb. 5-20).

Auch durch Mangan kann der Geschmack des Trinkwassers beeinflusst werden, Werte über 0,05 mg/l gelten als störend. Die Grundwässer der Vorfeldmessstellen zeichnen sich durch Mangangehalte von durchschnittlich 0 bis 0,1 mg/l Mangan aus, die Messungen an den DF ergaben erhöhte Gehalte bis maximal 0,4 mg/l. Damit liegen die Mangankonzentrationen häufig oberhalb des Grenzwertes von 0,05 mg/l der TRINKWV (2001). Diese höheren Konzentrationen sind analog zum Verhalten des Eisens auf die reduzierenden Verhältnisse sowie die vorhandenen Huminstoffe zurückzuführen.

Aluminium ist das dritthäufigste Element in der Erdkruste. Im neutralen pH-Bereich, wie er für die Wässer der Vorfeldmessstellen in den untersuchten Gebieten typisch ist, hydrolysieren Aluminiumverbindungen zu Aluminiumhydroxid. Gelöste  $\text{Al}^{3+}$ -Ionen treten daher nur als Spurenstoffe mit Konzentrationen von durchschnittlich 0,14 mg/l auf. In stark saurem Milieu, wie es sich in kalkfreien Grundwasserleitern in den oberflächennahen Bereichen bilden kann, nehmen die Aluminiumkonzentrationen z.T. sehr hohe Werte an (KÖLLE 2001) (Abb. 5-20). Dies wird an den Grundwässern der DF deutlich, die Aluminiumgehalte von gemittelt 2 mg/l aufweisen. Der Grenzwert liegt nach der TRINKWV (2001) bei 0,2 mg/l Aluminium. Das Grundwasser der Messstelle L13 zeigt neben den niedrigsten pH-Werten (bis pH 4,6) auch die höchsten Konzentrationen bis 9 mg/l  $\text{Al}^{3+}$ .



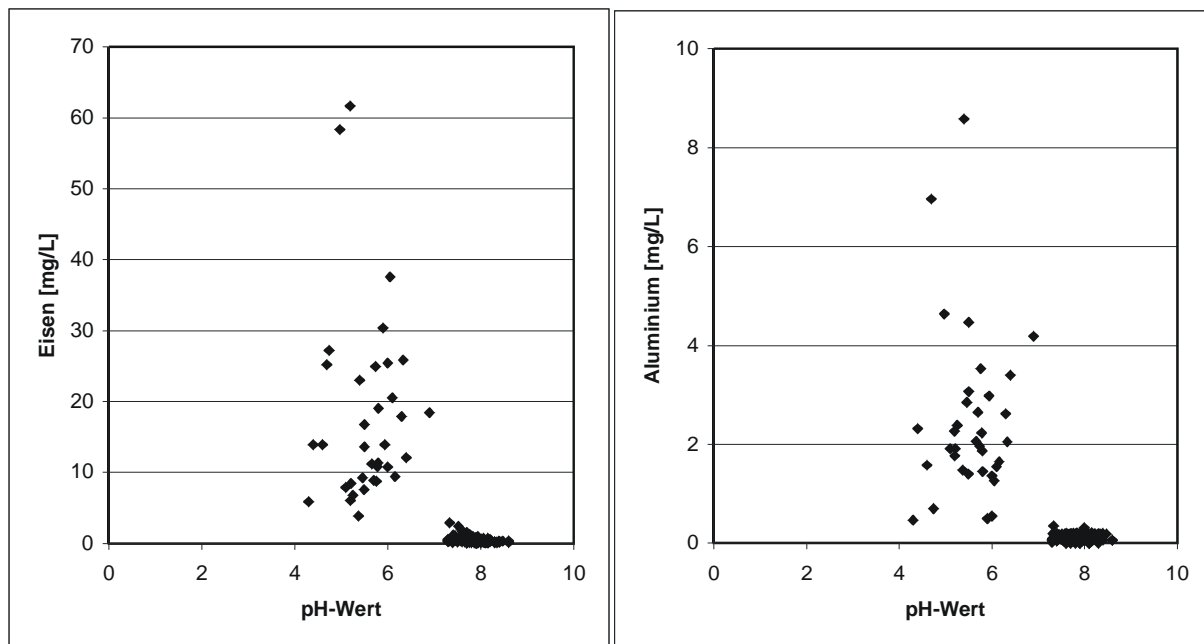


Abb. 5-20: Zusammenhang zwischen pH-Wert und den Gehalten an im Grundwasser gelöstem Eisen und Aluminium am Beispiel der Insel Langeoog; n = 145.

Mittels ICP-OES konnten die Schwermetalle Cu, Ni, Zn und Co für die Grundwässer der DF analysiert werden. Die geochemisch-natürliche Schwermetall-Konzentration der Gewässer ist normalerweise gering (HELLMANN 1999). In anaeroben Wässern mit niedrigen pH-Werten gehen die in Mineralen enthaltenen oder an organische Materie gebundenen Schwermetalle verstärkt in Lösung. Über Sedimentuntersuchungen konnten keine Schwerminerale nachgewiesen werden, anthropogene Einträge von Schwermetallen im Bereich der DF sind unwahrscheinlich. Die untersuchten oberflächennahen Grundwässer zeigen deshalb, trotz niedriger pH-Werte und einem hohen Anteil organischer Substanzen, nur niedrige Schwermetallgehalte von durchschnittlich 0,04 µg/l Cu, 0,02 µg/l Ni und 0,11 µg/l Zn. Diese Gehalte sind als unbedenklich einzustufen. Cobalt war in keiner Probe nachweisbar.

#### 5.2.4.3.2 Anionen

Von großer Bedeutung für küstennahe Grundwasservorkommen sind die Anionen aus der Gruppe der **Halogenide**: Bromid, Chlorid, Fluorid und Iodid. Halogenide erreichen im Meerwasser und in Grundwässern nahe Salzlagerstätten besonders hohe Konzentrationen. Abhängig von der Entfernung zur Küste, der Windstärke und den Tideinflüssen können beträchtliche Mengen über marine Aerosole, Niederschläge sowie durch Diffusion im Bereich der Süß-/Salzwassergrenze oder deren Verschiebung in das Grundwasser gelangen. Anthropogene Einträge sind über Streusalze und Düngemittel gegeben. Bromid und Fluorid treten in den untersuchten Grundwässern überwiegend unterhalb der Nachweisgrenzen auf. Iodid wurde nicht untersucht. Daher werden diese drei Anionen hier nicht besprochen.

Chlor kommt in der Natur nahezu ausschließlich in Form des Chlorids vor, und zwar überwiegend in Gesellschaft mit Natrium-, Kalium- und Magnesiumionen (KÖLLE 2001). In Grundwässern aus chloridarmen Sedimenten liegt der Gehalt meist unter 30 mg/l Cl<sup>-</sup> (MERKEL & SPERLING 1996). Die erhöhten Chloridgehalte in den Vorfeldmessstellen der Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney von durchschnittlich 79 mg/l ergeben sich mit an

Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit aus der Meerwassernähe und sind somit geogen. Der Grenzwert für Chlorid wird bei 250 mg/l festgelegt (TRINKWV 2001).

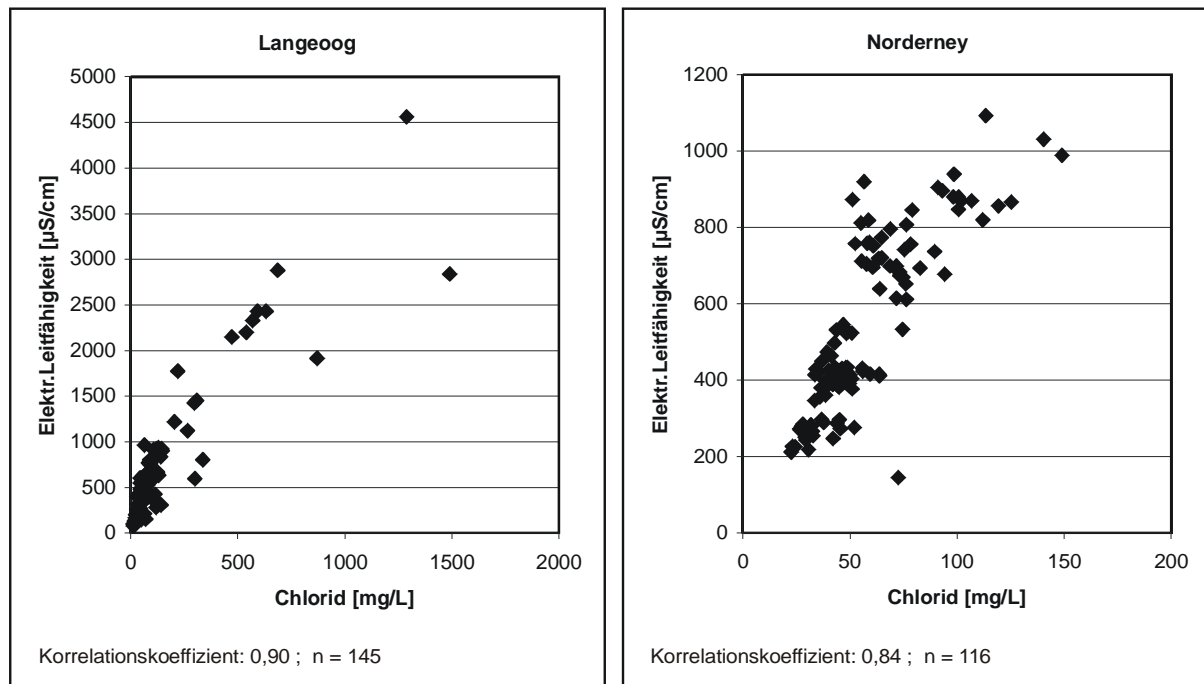


Abb. 5-21: Korrelation zwischen spezifischer elektrischer Leitfähigkeit und Chlorid im Grundwasser der Inseln Langeoog und Norderney.

Chloridkonzentration und spezifische elektrische Leitfähigkeit korrelieren signifikant (Abb. 5-21). Die Messstellen 106u und 130u auf Langeoog reichen bis in die Brackwasserschicht. Hier werden Werte bis 871 mg/l  $\text{Cl}^-$  (VM 106u) bzw. 1491 mg/l  $\text{Cl}^-$  (VM 130u) erreicht. Auffälligkeiten zeigen die beiden in der Ortschaft Langeoog gelegenen, dreifach verfilterten Messstellen 127 und 128. Während des Beobachtungszeitraums von Dezember 1999 bis August 2001 stiegen die Chloridkonzentrationen in 128u von 65 auf 296 mg/l Chlorid an, 128o und 128m zeigten dagegen relativ konstante Werte. Ursache hierfür muss ein anthropogener Eintrag sein, z.B. aus undichten Abwasserleitungen. Im Grundwasser der in einem Graben an einer Straßenkreuzung gelegenen VM 127 finden sich im Gegensatz zu allen anderen Messstellen die höchsten Chloridgehalte mit durchschnittlich 120 mg/l im oberen Filterbereich, die Grundwässer aus 127m und 127u enthalten nur 64 bzw. 68 mg/l  $\text{Cl}^-$ . Eine anthropogene Beeinflussung durch die Siedlung und v.a. durch Tierfäkalien (Pferde, Hunde) ist anzunehmen, zumal auch die Parameter Ammonium ( $\bar{o}$  4 mg/l) und Kalium ( $\bar{o}$  21 mg/l) deutlich erhöht sind. Nach BÄKER (2000) enthalten die Traufwässer der Ostfriesischen Inseln, aufgrund der Meerwassernähe, oft erhebliche Mengen an Chlorid und Kalium. Da die VM 127 sich in einem Graben befindet, dem die Niederschlagswässer der näheren Umgebung zugeleitet werden, kann es durch die Versickerung dieser Traufwässer zu den o.g. erhöhten Konzentrationen kommen.

Auf den betrachteten Ostfriesischen Inseln zeigen die Wässer der DF in Bezug auf Chlorid eine deutliche jahreszeitliche Abhängigkeit. Da diese Messstellen in nur 1-2 m Tiefe verfiltert sind, also die Grundwasseroberfläche erfassen, wird der Eintrag über Seaspray hier besonders deutlich. So wurden im Frühjahr und im Herbst 2000 besonders hohe Chloridgehalte auf beiden Inseln bis 263 mg/l (N18, November 2000) erreicht. Dies ist durch die hohe Sturm- und Niederschlagshäufigkeit in diesen Jahreszeiten zu erklären.

Ein weiterer wichtiger geogener Hauptbestandteil in Grundwässern ist das geochemisch sehr mobile **Sulfat**. Die Einträge von Schwefel in das Grundwasser erfolgen aus der Atmosphäre über den Niederschlag, aus der Verwitterung schwefelhaltiger Ausgangsgesteine (z.B. Gips, Anhydrit), durch den Abbau organischer Substanz sowie anthropogen durch die landwirtschaftliche Düngung und aus Bergbauhalden bzw. Bauschuttdeponien. SCHLEYER & KERNDORFF (1992) geben als Orientierungswerte für Grundwässer in Lockersedimenten 15 – 105 mg/l Sulfat an. Unter anaeroben Bedingungen und bei relativ hohen pH-Werten oder bei der Zersetzung von organischem Material wird  $\text{SO}_4^{2-}$  zu  $\text{HS}^-$  und  $\text{H}_2\text{S}$  reduziert (MERKEL & SPERLING 1996). Die Sulfatgehalte in den Untersuchungsgebieten bewegen sich im geogenen Normalbereich mit durchschnittlichen Werten von 32 mg/l auf Langeoog und 20 mg/l auf Norderney, unterschreiten den Grenzwert 240 mg/l nach TRINKWV (2001) also deutlich. Generell nimmt der Sulfatgehalt der Grundwässer mit der Tiefe ab. Eine Ausnahme bilden die zwei- bzw. dreifach verfilterten VM 130 und 106 auf Langeoog. Die in der Brackwasserschicht verfilterte VM 130u (31,50 - 46,50 m u. GOK) weist maximal 301 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$  auf. Hier macht sich der Einfluss des die Süßwasserlinse unterlagernden Salzwassers bemerkbar, Meerwasser enthält bis zu 4293 mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$  (Langeoog, Nordstrand März 2001). Die Messstelle 106u reicht zwar ebenfalls bis in die Brackwasserschicht, jedoch mit einer Filtertiefe von 18,50 - 19,50 m u. GOK nur in deren obere Bereiche. Salzwassereinflüsse sind in Bezug auf Sulfat ( $\leq 53$  mg/l  $\text{SO}_4^{2-}$ ) nur schwach erkennbar.

Aus der Säurekapazität bis pH 4,3 kann der Gehalt an **Hydrogenkarbonat** im Grundwasser errechnet werden. Dessen Höhe ist abhängig vom Kalkgehalt des Grundwasserleiters, dem pH-Wert, der Ionenstärke des Wassers sowie dem vorherrschenden  $\text{CO}_2$ -Partialdruck. Hydrogenkarbonat ist ein wichtiger Bestandteil des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts. Im Bereich zwischen pH 6,5 und pH 10,5 wird danach der größte Teil der karbonatischen Spezies als Hydrogenkarbonat gelöst im Grundwasser vorliegen (Abb. 5-22). Als geogen können in Lockergesteins-Grundwasserleitern Gehalte von 80 - 350 mg/l  $\text{HCO}_3^-$  angesehen werden, ab 420 mg/l  $\text{HCO}_3^-$  beginnt nach MERKEL & SPERLING (1996) der anthropogen beeinflusste Bereich.

In den untersuchten Proben der Ostfriesischen Inseln zeigte sich, dass die schwach sauren Grundwässer der DF auch die geringsten  $\text{HCO}_3^-$ -Gehalte aufweisen ( $\bar{x}$  38 mg/l), während die neutralen bis schwach basischen Wässer der VM Gehalte von gemittelt 193 mg/l  $\text{HCO}_3^-$  enthalten. Neben dem pH-Wert hat die Ionenstärke einen hohen Einfluss. So enthält die Messstelle 106u mit bis zu 348 mg/l die höchsten Gehalte an  $\text{HCO}_3^-$  von Langeoog bei einem im Vergleich zu den anderen Vorfeldmessstellen geringen pH-Wert von 7,5 und einer hohen Leitfähigkeit von 2430  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

In den mit der ICP-OES analysierten Wässern der DF wurde des weiteren **Phosphat** ermittelt. Auf Langeoog ergaben sich Gehalte von 0,3-3,3 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$ , auf Norderney von 0,1–5,2 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$ . Damit liegen die Phosphatkonzentrationen unterhalb des Grenzwertes von 6,7 mg/l nach der TRINKWV (1990), die TRINKWV (2001) benennt keinen Grenzwert für Phosphat. Als mittlerer Gehalt in oberflächennahen Grundwässern wird von WEDEPOHL (1978) ein Wert von 0,06 mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$  angegeben, geogene Phosphateinträge in das Grundwasser sind also minimal. Anthropogene Beeinflussungen entstehen durch Düngemittelausbringung, Fäkalien oder durch Sickerwässer aus Abfalldeponien (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Beide Möglichkeiten sind auf den Inseln unwahrscheinlich. Das Auftreten an Humin- und Fulvosäuren gebundenen Phosphats (MERKEL & SPERLING 1996) kann die Ursache für die oben genannten hohen Konzentrationen in den Wässern der DF sein.

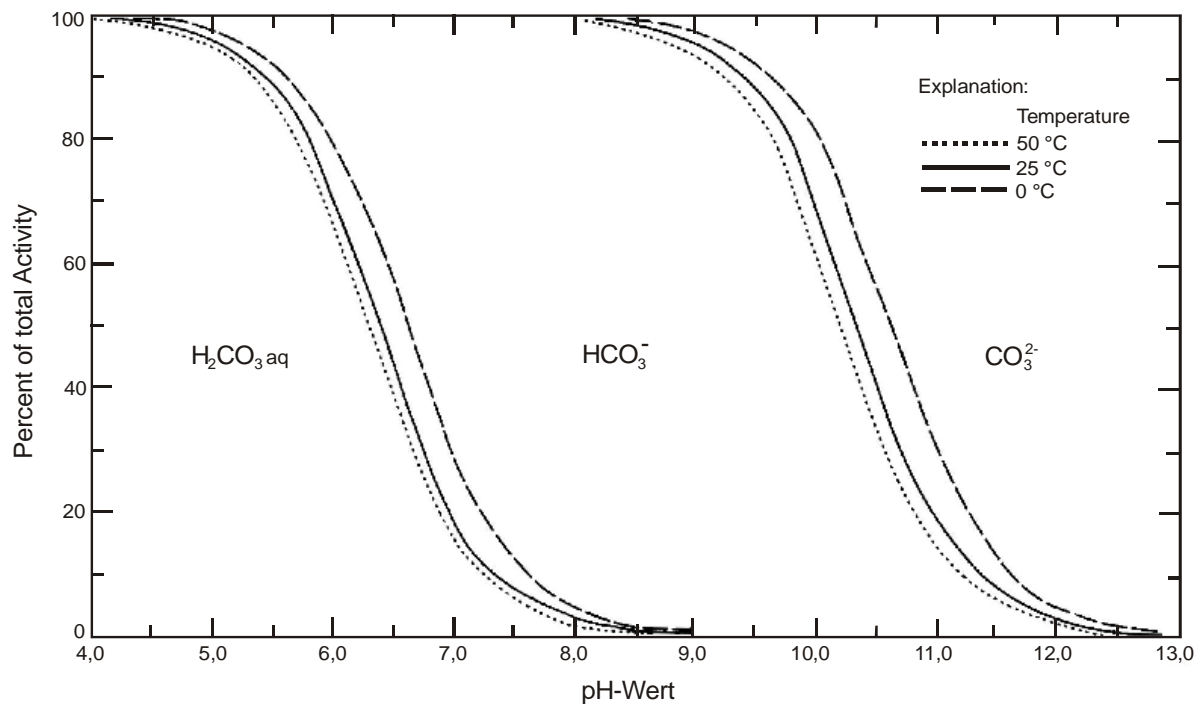


Abb. 5-22: Prozentualer Anteil der Aktivitäten der CO-Spezies in Abhängigkeit von der Temperatur und dem pH-Wert (HEM 1992).

#### 5.2.4.3.3 Stickstoffverbindungen

Stickstoff ist mit ca. 78 Vol. % in der Atmosphäre enthalten und Nebenbestandteil fast aller Gesteine und Minerale. Des Weiteren kommt Stickstoff organisch gebunden in Proteinen sämtlicher Organismen vor. Der Stickstoffgehalt in Sedimenten ist zum großen Teil abhängig vom Vorhandensein organischer Materie (MERKEL & SPERLING 1996). Hier liegt dieser als Ammoniak oder Ammonium vor, letzteres kann u.a. von Tonmineralen adsorbiert werden. Durch mikrobiell katalysierte Oxidation wird Ammonium unter aeroben Bedingungen über Nitrit zu Nitrat umgewandelt (Nitrifikation), unter anaeroben Verhältnissen kommt es zur mikrobiell gesteuerten Reduktion von Nitrat über Nitrit zu Ammonium (Denitrifikation). Dies führt dazu, dass bei hohen Nitratkonzentrationen der Anteil an Ammonium entsprechend gering ist, Nitrit spielt als Zwischenprodukt nur eine untergeordnete Rolle (Abb. 5-23).

In den letzten Jahrzehnten hat die anthropogene Belastung der Umwelt durch Stickstoff stark zugenommen. Dies geschieht zum Beispiel durch Emission von Stickoxiden bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe, durch den Eintrag von Nitrat und Ammonium aus Mineral- und Wirtschaftsdüngern sowie durch die Einleitung häuslicher, kommunaler und industrieller Abwässer. Nitrat ist sehr leicht wasserlöslich und unterliegt im Boden weder Adsorptions- noch Ionenaustauschvorgängen. In gut durchlässigen Böden gelangt  $\text{NO}_3^-$  auf diesem Weg in Abhängigkeit von der Niederschlagshöhe und somit der Sickerwassermenge relativ schnell ins Grundwasser. Als Richtwerte für Stickstoffgehalte in Grundwässern in Lockergesteinen gelten: Nitrat 0,4 – 30 mg/l, Nitrit <10 – 30 µg/l und Ammonium <0,01 – 0,3 mg/l (SCHLEYER & KERNDORFF 1992). Die TRINKWV (2001) gibt folgende Grenzwerte an: Nitrat 50 mg/l, Nitrit 0,5 mg/l und Ammonium 0,5 mg/l.

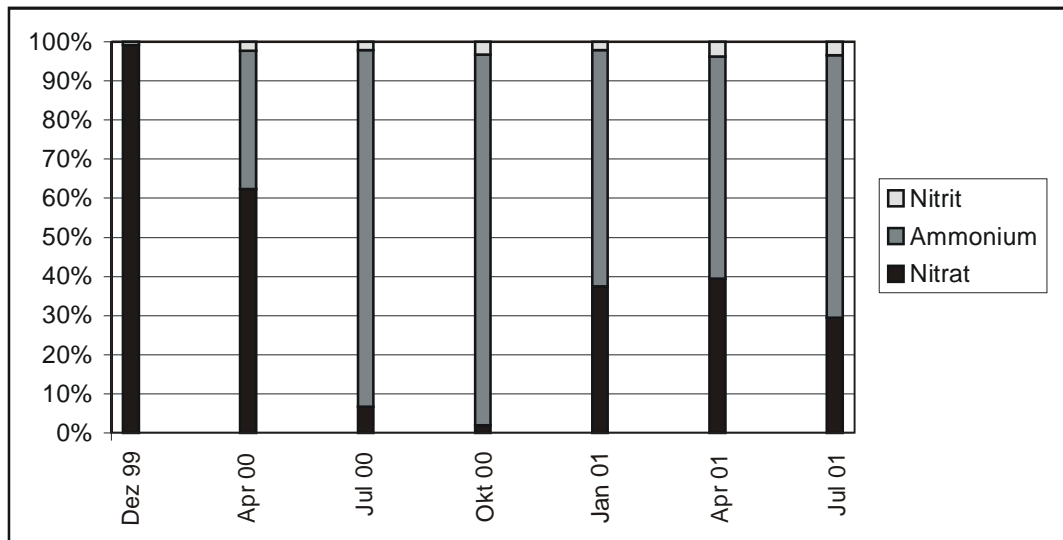


Abb. 5-23: Verhältnis zwischen Nitrat, Nitrit und Ammonium am Beispiel der Insel Langeoog.

Über den Niederschlag wird auf Langeoog durchschnittlich 4,6 mg/l Nitrat, 0,1 mg/l Nitrit und 1,6 mg/l Ammonium eingetragen. Der Grenzwert nach TRINKWV (2001) für Ammonium wird also bereits im Niederschlagswasser überschritten. Die Grundwasseranalysen ergaben Mittelwerte von 0,6 mg/l Nitrat, 0,04 mg/l Nitrit und 0,8 mg/l Ammonium. Auf Norderney wurden etwas höhere Nitratgehalte von durchschnittlich 2 mg/l ermittelt. Eine Ausnahme stellt die Vorfeldmessstelle SN3 mit Konzentrationen bis zu 118 mg/l  $\text{NO}_3^-$  dar. Es kann von einer anthropogenen Beeinflussung ausgegangen werden. Hier befand sich ehemals eine Kleingartenanlage mit einem Teich, aktuell liegt die Messstelle an einem Parkplatz. Auf beiden Inseln werden die höchsten Werte für Nitrat im Frühjahr, für Ammonium im Herbst beobachtet.

#### 5.2.4.3.4 Organische Inhaltsstoffe

Die einfachsten organischen Substanzen bestehen aus Kohlenstoff und Wasserstoff, darüber hinaus sind folgende Elemente häufig enthalten: Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor und Chlor (KÖLLE 2001). Ein wichtiger Summenparameter zur Charakterisierung der Belastung eines Wassers mit organischen Substanzen ist der DOC-Wert (Dissolved Organic Carbon). Neben einfachen biologischen Verbindungen werden vor allem die hydrochemisch relevanten Huminstoffe aufgezeigt, deren Anteil in unbeeinträchtigten Wässern etwa 60 – 90 % des DOC-Wertes betragen kann. Diese werden im Zuge der Humifizierung als hochmolekulare organische Verbindungen gebildet und sind in der Lage, Metallionen als Chelatkomplexe zu binden. Die Komplexe von Eisen und Kupfer sind besonders stabil. Eine hohe Sorptionskapazität ermöglicht es den Huminstoffen außerdem, mit mineralischen Nährstoffen und organischen Molekülstrukturen, z.B. Pestiziden, Verbindungen einzugehen (HÜTTER 1994). Dadurch bleiben Nährstoffe und Spurenelemente im Boden verfügbar und dem Transport von Schadstoffen wird entgegengewirkt. Wird die Aufnahmekapazität der oberen Bodenschichten überschritten, können die an den wasserlöslichen Anteilen der Huminstoffe adsorbierten bzw. komplex gebundenen Schadstoffe mobilisiert werden und in das Grundwasser gelangen. Der pH-Wert spielt hierbei eine wichtige Rolle. Bezüglich der Base- und Säurelöslichkeit werden Huminstoffe wie folgt unterschieden (Tab. 5-11).

Tab. 5-11: Unterteilung der Huminstoffe (BLUME 1992).

Eigenschaften	Fulvosäuren	Huminsäuren	Humine
Farbe	gelb-gelbbraun	tiefbraun	schwarz
C-Gehalt [%]	43-52	50-60	
unterschiedlich			
Molekulargewicht [g/mol]	800-9000	bis 100 000	
unterschiedlich			
Innere Vernetzung	gering	→	hoch
Funktionelle Gruppen	höher	←	geringer
Säurecharakter	stark	←	schwach
Mobilität	stark	←	schwach

Fulvosäuren sind sowohl in sauren als auch basischen Wässern löslich, die weniger häufigen Huminsäuren gehen nur im alkalischen Milieu in Lösung, Humine sind dagegen wasserunlöslich (MERKEL & SPERLING 1996). Die Konzentration von Huminstoffen im Grundwasser liegt meist unterhalb von 1 mg/l (RUMP 1998), der geogene Normalbereich wird von SCHLEYER & KERNDORFF (1992) mit <0,5 – 2,5 mg/l DOC definiert.

Die Bestimmung des DOC wurde mit dem Total-Carbon-Monitor TCM 480 der Firma *CARLO ERBA* am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig durchgeführt. Analysen von Standards ergaben einen maximalen Messfehler von  $\pm 2\%$ . In den Untersuchungsgebieten lagen die ermittelten Konzentrationen deutlich über den o.g. Richtwerten. So wurden in den Vorfeldmessstellen auf Langeoog DOC-Gehalte zwischen 2 und 29 mg/l DOC ( $\bar{\sigma}$  13 mg/l) sowie auf Norderney zwischen 0,5 und 43 mg/l DOC ( $\bar{\sigma}$  15 mg/l) gemessen. Die oberflächennahen Grundwässer der DF erreichen wesentlich höhere Konzentrationen an DOC bis zu 122 mg/l (N18, Januar 2000). Die Ursachen für diese hohen Werte liegen zum einen in der Nähe der Messstellen zum Boden (DF), zum anderen sind innerhalb der quartären Abfolgen vielfach humose Schichten (Torf) eingelagert. Da besonders Fulvosäuren sehr leicht wasserlöslich sind, werden diese aus dem Boden oder Torfen ausgewaschen und gelangen auf diese Weise in das Grundwasser. Ein deutlicher jahreszeitlicher Trend der DOC-Konzentrationen konnte nicht beobachtet werden.

Generell nimmt der DOC-Gehalt mit zunehmender Tiefe ab. Es kann jedoch auch zu leichten DOC-Anstiegen in größeren Tiefen kommen. Dies ist einerseits durch die bereits erwähnten Torflagen in den quartären Abfolgen zu erklären, andererseits kann es zu einer langsamen Verlagerung der im Grundwasser gelösten organischen Komponenten in tiefere Schichten kommen.

Zur Charakterisierung der Huminstoffanteile wurden sieben DOC-haltige Grundwasserproben aus verschiedenen Tiefen von Langeoog mittels AFFFF (Asymetrical Flow Field-Flow Fraction) und Fluoreszenzspektrometrie untersucht (Tab. 5-12). Die Analysen erfolgten mit einem AFFFF-Gerät von *ConSenxus* sowie dem Fluorimeter AB2 von *AMINCO-Bowman* am Institut für Hydrologie des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit GmbH in Neuherberg durchgeführt.

Die Analysen ergaben, dass Huminstoffe mehr als 50 % der DOC-Gehalte der Grundwasserproben ausmachen; die gelösten Huminstoffe bestehen im wesentlichen aus Fulvosäuren und nur zu 5-10% aus Huminsäuren. Lediglich die Probe der Messstelle L19, gelegen in einem Braunseggensumpf, enthält neben Fulvosäuren einen erheblichen Anteil von bis zu 30 % Huminsäuren (Abb. 5-24). Diese sind vermutlich auf einen besonders hohen Anteil an ver-

rottenden Ligninen oder oberflächennahe Torflagen zurückzuführen. Im Grundwasser der Messstelle L4 konnten dagegen keine Huminsäuren nachgewiesen werden. Die Bodenbildung ist hier im Vergleich zu L19 und L22 ( $\varnothing$  0,13 m) sehr geringmächtig (0,04 m).

Tab. 5-12: Ausgewählte Messstellen von Langeoog und deren DOC-Gehalt, April 2001.

Messstelle	Filtertiefe u. GOK [m]	DOC [mg/l]
128o	11,63 – 13,63	14,20
128m	15,63 – 17,63	10,90
128u	22,63 – 24,63	13,90
129	11,58 – 17,58	7,10
L4	0,78 – 1,78	19,70
L19	0,52 – 1,52	95,90
L22	0,79 – 1,79	34,30

Im Gegensatz zu den anderen Grundwasserproben und den analysierten aquatischen Huminstoffstandards zeigen die Huminstoffe der Proben 128m und 128u eine besonders hohe Fluoreszenz bezogen auf den DOC-Gehalt. Es kann vermutet werden, dass die Fulvosäuren dieser Proben aus älteren Torfablagerungen in den quartären Sedimenten stammen. ARTINGER et al. (2000) wies nach, dass Huminstoffe aus sedimentären organischen Lagen (SOC) stärker fluoreszieren als aus der rezenten Bodenzone infiltrierte und durch das Grundwasser transportierten Huminstoffe. BARCKHAUSEN (1970) erwähnt mehrere holozäne Torfbänke im Untergrund Langeoogs zwischen 22 m u. NN und 1,6 m ü. NN, v.a. im West- und Ostteil der Insel. Auch wenn im Bohrprofil der Messstelle 128 keine organischen Horizonte ersichtlich sind, können die Huminstoffe der Proben 128m und 128u zumindest teilweise aus Torfen bzw. humosen Ablagerungen der näheren Umgebung der Messstelle stammen.

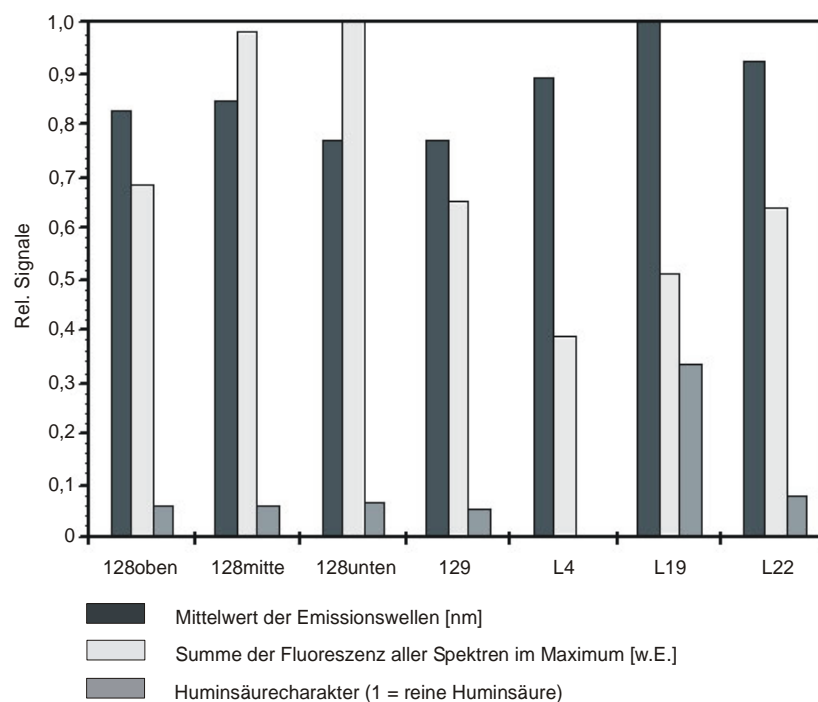


Abb. 5-24: Zusammenfassende Ergebnisse der fluoreszenzspektrometrischen Untersuchungen (Wolf et al. 2002).



Die analytischen Ergebnisse decken sich hinsichtlich der Färbung der Grundwässer mit denen in Geländebeobachtungen. Je intensiver die Gelbfärbung eines Wassers ist, desto höher ist auch sein Gehalt an DOC (Abb. 5-25). Dies ist dadurch begründet, dass die den Großteil der Huminstoffe ausmachenden Fulvosäuren eine gelbe Eigenfarbe besitzen. Besonders stark gelbbraun bis braun gefärbt ist das Wasser aus der Messstelle L19, welches nicht nur sehr hohe DOC-Konzentrationen, sondern wie o.g. einen relativ großen Anteil an Huminsäuren (braune Eigenfarbe) aufweist.

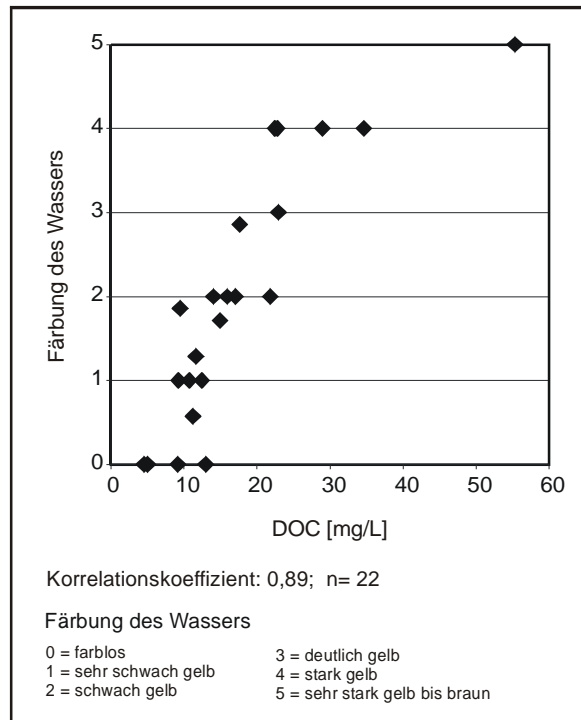


Abb. 5-25: Vergleich zwischen der Färbung der Grundwässer und deren DOC-Gehalt am Beispiel von 22 untersuchten Messstellen Norderney's (Werte gemittelt aus 7 Probennahmen von Januar 2000 bis August 2001).

Die derzeit gültige Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (DER RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1997) beinhaltet eine Vielzahl organischer Stofffamilien und Stoffgruppen, die aufgrund der Toxizität, Persistenz oder Bioakkumulation nicht in das Grundwasser eingeleitet werden dürfen. Zu diesen zählen u.a. Organische Halogenverbindungen und Stoffe, die im Wasser derartige Verbindungen bilden können. Analytisch erfasst werden kann diese Stoffgruppe als **AOX** (Adsorbierbare Organische Halogene), die als Umweltparameter gesetzlich festgelegt sind. AOX umfassen überwiegend organische Chlor- aber auch Fluor-, Brom- und Jodverbindungen.

Orientierungswerte im Hinblick auf den Gewässerschutz an Fließgewässern, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, gibt das DVGW-ARBEITSBLATT W251 (1996). Hier werden 0,03 mg/l AOX als Normalanforderung für eine Trinkwassergewinnung mit natürlichen Verfahren genannt, Mindestanforderung für eine Gewinnung mittels physikalisch-chemischer Verfahren sind 0,06 mg/l AOX. Das Trinkwasser selbst muss nicht auf AOX als Summenparameter untersucht werden, hier unterliegen 1,2-Dichlorethen, Tetrachlorethen, Trichlorethen sowie die Trihalogenmethane gesetzlichen Grenzwerten (Tab. 5-13). Diese Stoffe konnten jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht analysiert werden.

Tabelle 5-13: Auszug aus der TRINKWV (2001), Anlage 2 (zu §6 Abs. 2) Chemische Parameter, Teil I.

Lfd. Nr.	Parameter	Grenzwert in mg/l	Bemerkungen
7	1,2-Dichlorethan	0,003	-
14	Tetrachlorethen und Trichlorethen	0,01	Summe der für die beiden Stoffe nachgewiesenen Konzentrationen
11	Trihalogenmethane	0,05	Summe der am Zapfhahn des Verbrauchers nachgewiesenen und mengenmäßig bestimmten Reaktionsprodukte, die bei der Desinfektion oder Oxidation des Wassers entstehen: Trichlormethan (Chloroform), Bromdichlormethan, Dibromchlormethan und Tribrommethan (Bromoform); eine Untersuchung im Versorgungsnetz ist nicht erforderlich, wenn am Ausgang des Wasserwerks der Wert von 0,01 mg/l nicht überschritten wird.

Die stattdessen durchgeführten AOX-Analysen erfolgten nach DIN 38409-14 mit dem TOX-10 von *ABIMED*. Vergleichsmessungen mit einem Chlorphenolstandard ergaben eine maximale Messungenauigkeit von  $\pm 5\%$ . Die Anwesenheit von Huminstoffen führt bei der Analytik zu Komplikationen, da es zwischen diesen und den organischen Halogeniden zu einer konkurrierenden Adsorption an der Aktivkohle kommt (Carbon Fouling). Um diesem Effekt vorzubeugen wurden die Proben mit einem DOC-Gehalt  $>10$  mg/l entsprechend verdünnt.

Halogenorganische Verbindungen treten in Gewässern, Böden, Industrie- und Hausmüll, Altöl usw. auf und stellen eine große Belastung für die Umwelt dar, da diese meist toxisch und kanzerogen wirken. Der Wert für die geogene Grundbelastung liegt bei  $<10$   $\mu\text{g/l}$  AOX (HÖLTING 1996).

Auf den industriell und landwirtschaftlich ungenutzten Inseln Langeoog und Norderney wurden AOX-Konzentrationen von bis zu 232  $\mu\text{g/l}$  (L19, April 2001) bestimmt. Die Wässer der Vorfeldmessstellen weisen hierbei überwiegend Gehalte zwischen 10 – 40  $\mu\text{g/l}$  AOX, die DOC-reichen, oberflächennahen Wässer der DF wesentlich höhere AOX-Gehalte von durchschnittlich 75  $\mu\text{g/l}$  bis zu weit über 100  $\mu\text{g/l}$  auf. Die Grundwässer der Untersuchungsgebiete sind nach HÖLTING (1996) mäßig (20 – 60  $\mu\text{g/l}$ ) bis stärker (60 – 300  $\mu\text{g/l}$ ) mit AOX belastet. Es ist ein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein organischer Substanz und AOX gegeben, der sich in der Korrelierbarkeit zwischen AOX und DOC widerspiegelt (Abb. 5-26). Weiterhin deutet sich ein Zusammenhang zwischen dem pH-Wert sowie dem Chlorid-Gehalt und den AOX-Konzentrationen an und zwar derart, dass hohe AOX-Werte bevorzugt bei niedrigen pH-Werten und hohen Chloridgehalten auftreten.

Auffälligkeiten zeigte die Vorfeldmessstelle SN3 mit hohen AOX-Gehalten bis 101  $\mu\text{g/l}$  (August 2000). Aufgrund der Lage dieser Messstelle an einem Parkplatz der Ortschaft Norderney in der Nähe einer ehemaligen Kleingartenanlage kann von einer anthropogenen Beeinflussung ausgegangen werden.

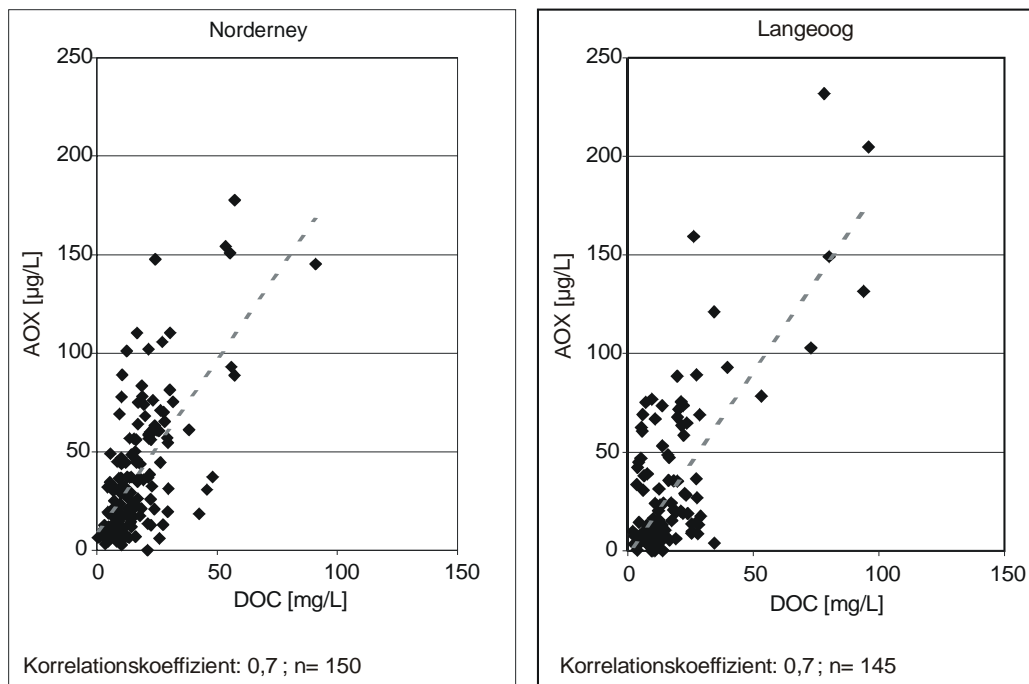


Abb. 5-26: Korrelation der Konzentrationen von AOX und DOC im Grundwasser der Inseln Langeoog und Norderney über den Zeitraum von Dezember 1999 bis Mai 2001.

#### 5.2.4.4 Isotopenuntersuchungen

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden für ausgesuchte Grundwasserproben der Insel Langeoog das Umweltisotop Tritium  $^3\text{H}$  (in TU= tritium units, 1 TU = 1  $^3\text{H}$  pro  $10^{18}$  Wasserstoffatome) gemessen. Weiterhin wurden im Zusammenhang mit der Grundwasserfassungserweiterung auf Norderney im Bereich des Förderbrunnens B28 (s. Abb. 4-2) durch FÜHRBÖTER (2004) Untersuchungen von Grundwasserproben auf Tritium und 3-Helium zur Altersbestimmung bzw. Bestimmung der vertikalen Abstandsgeschwindigkeit durchgeführt.

Tritium wird unter natürlichen Bedingungen in der Atmosphäre durch die Einwirkung von Höhenstrahlen auf Stickstoffatome gebildet:  $^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^3_1\text{H}$ . Tritium lässt sich direkt in Wassermoleküle einbinden bzw. kann mit stratosphärischem Sauerstoff Wasser bilden:  ${}^3\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow {}^3\text{HO}_2 \rightarrow {}^1\text{H}^3\text{HO}$  und gelangt auf diese Weise über den versickernden Niederschlag ins Grundwasser. Das instabile Radionuklid zerfällt unter Aussendung von  $\beta$ -Strahlung mit einer Halbwertszeit von 12,43 Jahren zu Helium:  ${}^3\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \beta^-$  (CLARK & FRITZ 1997). Die natürliche Verteilung des Tritiums in der Atmosphäre wurde seit 1951 bis 1963/64 durch die schubweise Freisetzung von großen Tritiummengen infolge von Kernwaffen-Testserien stark gestört (ERIKSSON 1965). Diese Tests von thermonuklearen Waffen hielten in reduzierter Form bis in die 1980er Jahre an. Aus dem Anstieg der Tritiumgehalte resultiert die Möglichkeit einer Altersdatierung von Grundwässern (MÜNNICH 1963). Zu Beginn der 1990er Jahre war der überwiegende Anteil des anthropogenen Tritiums aus der Atmosphäre ausgewaschen, der Tritiumgehalt der Niederschläge nähert sich seitdem wieder den natürlichen Konzentrationen (CLARK & FRITZ 1997). Aufgrund einer – bedingt durch die verschiedenen Kernwaffenversuche – heute nicht mehr bestimmbar anfangs Tritium-Konzentration im Wasser und durch Vermischung verschieden alter Wässer ist eine exakte Altersdatierung mittels Tritium schwierig (WEINERT et al. 2000). Zudem ist der Tritiumgehalt jahreszeitlichen Schwankungen

unterworfen mit einem Maximum im Frühjahr bzw. Frühsommer (HÖLTING 1996). Da Tritium in der kontinentalen Atmosphäre aufgestaut wird, ergibt sich ein Kontinentaleffekt. Orientierungswerte für Grundwässer in Küstengebieten geben CLARK & FRITZ (1997):

I	< 0,8 TU	submodern, vor 1952 neu gebildet,
II	0,8 bis ~2 TU	Mix zwischen submodernen und rezent neu gebildeten Wässern,
III	2 bis 8 TU	junge Wässer (< 5 bis 10 Jahre alt),
IV	10 bis 20 TU	Wässer mit Restanteilen des Kernwaffen-Tritiums,
V	> 20 TU	hoher Anteil an zwischen 1960-1980 neu gebildetem Grundwasser.

Die Grundwässer der Insel Langeoog enthalten mit hoher Wahrscheinlichkeit Anteile des während der Kernwaffen-Tests freigesetzten Tritiums (Abb. 5-27). Lediglich die Grundwässer der VM 128u und 123u bildeten sich vor 1952. Das Grundwasser der VM 102 von Langeoog ist in Anlehnung an CLARK & FRITZ (1997) zwischen 20 und 40 Jahre alt, die Grundwässer der übrigen VM dagegen zwischen 10 und 20 Jahren. Der Grundwasserleiter ist bei den untersuchten VM im Filterbereich und darüber annähernd gleich aufgebaut. Wird ein Analysefehler ausgeschlossen, muss ein seitlicher Grundwasseranstrom in den Filterbereich der VM 102 erfolgen, wodurch älteres Grundwasser zugeführt wird. Die Inbetriebnahme eines neuen Förderbrunnens neben dieser Messstelle kurze Zeit vor der Probenahme kann ebenfalls einen Zustrom von Grundwasser aus tieferen Bereichen der Süßwasserlinse bewirkt haben.

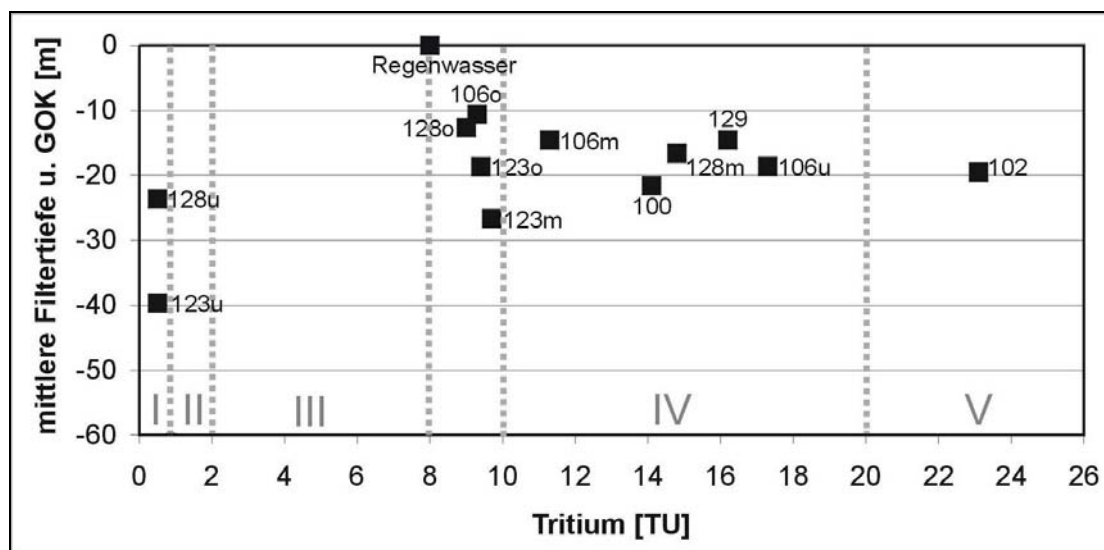


Abb. 5-27: Ergebnisse der Tritium-Messungen vom Januar 2002 in Abhängigkeit von der Filtertiefe.

Die übrigen VM von Langeoog weisen Grundwässer mit einem maximalen Alter von 20 Jahren oder Mischwässer auf. Der Tritiumgehalt nimmt in den dreifach verfilterten Messstellen mit der Tiefe zu, die Wässer werden in diese Richtung älter. Da eine Regenwasserprobe ebenfalls analysiert wurde, ist bekannt das die Tritiumkonzentration im Niederschlag zum Zeitpunkt der Probenahme 8 TU betrug. Dieser Wert passt zu den in Cuxhaven gemessenen Tritiumgehalten der letzten Jahre (Abb. 5-28). Danach kann angenommen werden, dass die meisten Grundwässer von Langeoog in den letzten 10 Jahren gebildet wurden.

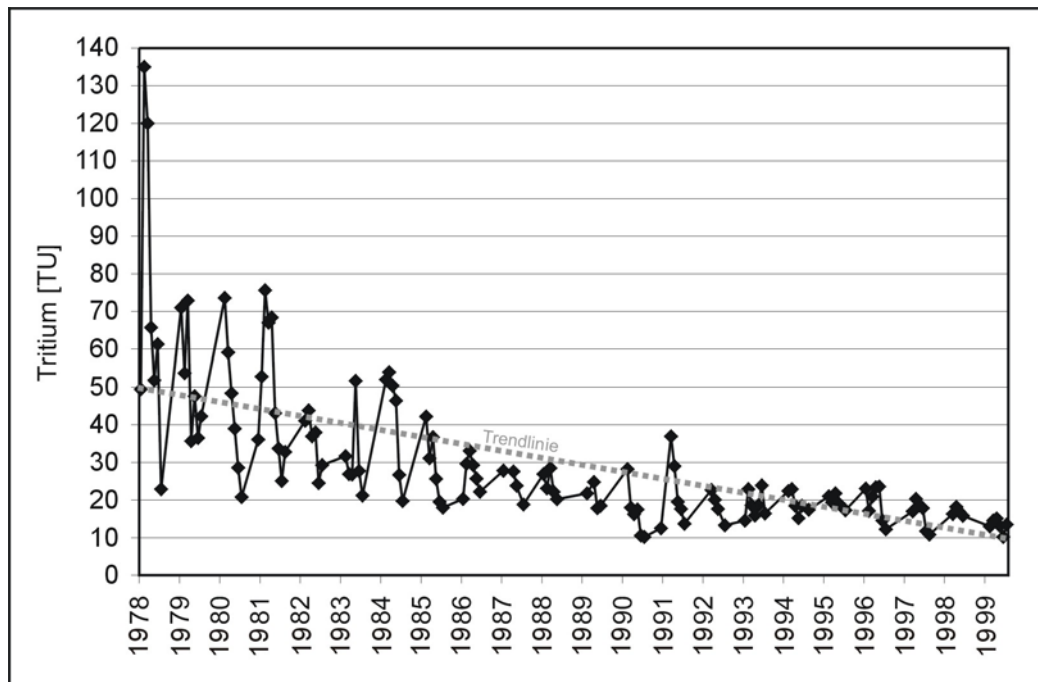


Abb. 5-28: Tritiumgehalte im Niederschlag von Cuxhaven, Datenquelle: <http://isohis.iaea.org>.

Wie bereits erwähnt sind einfache Tritium-Messungen aufgrund von mehrfach deutbaren Messwerten schwer interpretierbar. Genaue Altersangaben sind nur schwer möglich. Deshalb wurden die von FÜHRBÖTER (2004) auf Norderney durchgeführten Tritium-Messungen durch  $^3\text{He}$ -Messungen ergänzt.  $^3\text{He}$  ist ein Zerfallsprodukt von Tritium (tritiogenes Helium). Durch den Anteil des aus dem Tritium-Zerfall entstandenen Helium kann die Zerfallsdauer und damit das entsprechende Grundwasseralter berechnet werden. Über einen Abgleich mit dem Messwerten von benachbarten Tritiummessstationen (Cuxhaven) kann durch das Verhältnis zwischen Tritium + tritiogenes Helium der Probe zu dem initialen, d.h. der zum Zeitpunkt der berechneten Infiltration sich im Niederschlag befindliche Tritiumgehalt, die Beimengungen von alten, tritiumfreien Wasser bestimmt werden. Die Berechnung der Zeit  $t$  erfolgt nach CLARK & FRITZ (1997) mit der Konzentration von  $^3\text{H}$  und tritiogenen  $^3\text{He}$  in TU wie folgt:

$$t = 12,43/\ln 2 \cdot \ln (1 + [^3\text{He}]_t / [^3\text{H}]_t)$$

Im Nahfeld des Brunnens B28 entnommenes Grundwasser aus Tiefen von 8,5 m u. GOK und 34,5 m u. GOK wurde über dieses Verfahren auf ein Alter von 3,04 bzw. 13,92 Jahren datiert. Dies entspricht den Neubildungsjahren 2000 bzw. 1989. Das Alter des untersuchten Grundwassers auf Norderney stützt damit das für Langeoog ermittelte Alter von durchschnittlich 10 bis maximal 20 Jahren in den entsprechenden Tiefen unter GOK.

Entsprechend der Entnahmetiefen des Grundwassers kann die vertikale Abstandsgeschwindigkeit berechnet werden. Da es zu Mischungen während der Probenahme kommt, sind die berechneten Abstandsgeschwindigkeiten Mittelwerte. Im Umfeld des Brunnens B28 wurden in 8,5 m u. GOK eine vertikale Abstandsgeschwindigkeit von 2,5 m/Jahr und in 34,5 m u. GOK eine vertikale Abstandsgeschwindigkeit von 2,6 m/Jahr berechnet. Die vertikalen Abstandsgeschwindigkeiten von Langeoog lassen sich auf 1 bis 2 m/Jahr schätzen.

Anhand der Ergebnisse von Norderney wird außerdem deutlich, dass die im Bereich des Brunnens B28 erbohrte Schluffschicht (s. Tab. 5-5, Kap. 5.1.2) die vertikale Geschwindigkeit des Grundwassers nicht signifikant herabsetzt. Der Anteil von Tritium-freien Wasser, d.h. Grundwasser, welches vor 1950 gebildet wurde, beträgt allerdings im unteren Grundwasserstockwerk ca. 25%. Dies spricht für eine anteilige Schutzwirkung der Schluffschicht, da ansonsten das gesamte Grundwasservolumen die Isotopensignatur des Jahres 1989 aufweisen müsste. Dispersion, Diffusion und eventuell Konvektion führten hier zu einer Durchmischung. Einen Einfluss auf die Geschwindigkeit, mit der Niederschlagswasser in 34,5 m Tiefe gelangen kann, ist hiermit nicht gegeben, es verringert sich lediglich das Volumen. Die Ergebnisse bestätigen die Vermutung, dass es sich bei dem erbohrten Wattschlick um eine Channel-Füllung, d.h. einen Priel, handelt (vgl. Kap. 5.1.2). Die hydrochemische Barrierewirkung gering, da es sich um eine lineare Struktur handelt, die keinen flächenhaften Stau-effekt verursacht.

## 6 Geogene Einflussfaktoren

Bei der Beeinflussung der Grundwasserqualität ist zwischen anthropogenen und geogenen Einflussfaktoren zu unterscheiden. Dabei werden geogene Wasserinhaltsstoffe als natürliche, überwiegend aus den durchflossenen grundwasserleitenden Schichten stammende Lösungsinhalte definiert, deren Konzentrationen von den Gesteinseigenschaften, den Löslichkeiten sowie von den Transport bestimmenden physikalisch-chemischen Eigenschaften abhängig sind (HÖLTING 1996). Anthropogene Grundwasserbeeinflussungen gehen dagegen von menschlichen Tätigkeiten aus. Durch diese können die natürlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften des Grundwassers nachteilig verändert werden. Von einer anthropogenen Belastung durch einen Wasserinhaltsstoff wird jedoch erst gesprochen, wenn bestimmte Konzentrationen überschritten werden, die für jeden Stoff entsprechend seiner Toxizität spezifisch sind. Die anthropogene Beeinflussung der Grundwässer in den untersuchten Grundwassermessstellen ist gering und wurde bereits in Kap. 5 an entsprechender Stelle diskutiert. Trotz z.T. sichtbarer Effekte kam es hierdurch im Beobachtungszeitraum zu keinen signifikanten Grenzwertüberschreitungen.

Durch die verhältnismäßig niedrige anthropogene Belastung der näher betrachteten Grundwasservorkommen in den Untersuchungsgebieten kommen geogene Einflussfaktoren besonders zur Geltung. Aufgrund der exponierten Lage der Düneninseln ist eine deutliche Beeinflussung der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers durch Meerwasser gegeben. Hierauf wurde bereits in Kap. 5 mehrfach verwiesen, in Kap. 7 wird hierzu nochmals Stellung bezogen. Bedingt durch den Aufbau des Grundwasserleiters und seiner Deckschichten sowie die Hydrochemie der meerwasserbeeinflussten Grund- und Sickerwässer scheinen Ionenaustausch- und Halogenierungsprozesse auf den Ostfriesischen Inseln von Interesse zu sein. Diese Prozesse sollen im Folgenden näher beschrieben und ihre Bedeutung in den Untersuchungsgebieten näher beleuchtet werden.

### 6.1 Ionenaustauschprozesse

Beim Ionenaustausch werden die im Wasser gelösten Ionen im Kristallgitter des Austauschers (Feststoff) eingebunden, können aber auch wieder gegen andere Ionen ausgetauscht werden (HÖLTING 1996). Austauschvorgänge finden vorwiegend an Tonmineralen oder Huminstoffen statt und betreffen in der Regel nur die Kationen. Tone verfügen über permanente negative Überschussladungen sowie variable Ladungen an ihren Seitenflächen. Huminstoffe sowie auch Oxide und Hydroxide von Al und Fe verfügen ausschließlich über variable Ladungen. Die Ladung von Huminstoffen ist stets negativ. Die Ladung der amphoteren Fe- und Al-Oxide ist dagegen abhängig vom pH-Wert. Beim Kationenaustausch werden nun Kationen aus der flüssigen Phase an negativ geladene Festphasen adsorbiert, während eine äquivalente Menge anderer Kationen aus der Festphase desorbiert werden und in die Flüssigphase übergehen. Die geknüpften Bindungen sind teils elektrostatisch, teils kovalent. Betroffen sind vor allem die Ionen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  und  $\text{Na}^{+}$ , weniger  $\text{NH}_4^{+}$  (HELLMANN 1999). Die Summe der austauschbaren Kationen eines Feststoffs nennt man Kationenaustauschkapazität, ihre Höhe ist von der Zusammensetzung der Austauschlösung abhängig und steigt meist mit deren pH-Wert an (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Bei mitteleuropäischen Böden beläuft sich die Austauschkapazität von Tonen, abhängig von der spezifischen Zusammensetzung der Tone, auf 40 bis 60 mval/100g, die der Huminstoffe auf 200 bis 500 mval/100g, und zwar abnehmend in der Reihe Humate > Humine > Fulvate (SCHROEDER & BLUM 1992). Die

Kationenaustauschkapazität von Huminstoffen ist damit deutlich höher als die von Tonmineralen.

Anionen lassen sich vor allem an Oxiden und Hydroxiden des Fe und Al sowie Tonmineralen mit zahlreichen (Al, Fe)-OH-Gruppen an der Oberfläche (Positionen variabler Ladung) austauschen. Die Anionenaustauschkapazität steigt jedoch im Gegensatz zur Kationenaustauschkapazität mit abnehmenden pH-Wert an. Austauschbare Anionen sind vor allem  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_4^{4-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , weniger  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{Cl}^-$  (HELLMANN 1999).

Ionenaustauschprozesse sind nicht nur abhängig vom vorhandenen Ionenaustauscher, sondern werden stark von der Zusammensetzung des Austauschwassers beeinflusst (gelöste Ionen, pH-Wert) und beeinflussen gleichzeitig wiederum dessen chemische Beschaffenheit. Die Grundwasserleiter und deren Deckschichten auf den Inseln Langeoog und Norderney bestehen zwar im wesentlichen aus Fein- und Mittelsanden mit einer geringmächtigen Bodenbildung, jedoch sind in die Sedimente immer wieder Tonlagen, -linsen und humose Schichten (Torf) eingelagert (Kap. 5.1.1). Die Sicker- und Grundwässer zeigen aufgrund der Lage der Untersuchungsgebiete einen deutlich marinen Einfluss, süßes Grundwasser trifft im Untergrund der Inseln auf Brack- bzw. Salzwasser. Voraussetzungen für Ionenaustauschprozesse sind also gegeben.

LÖHNERT (1966) stellte hierzu ein Schema zur Bildung von Austauschwässern auf (Abb. 6-1).

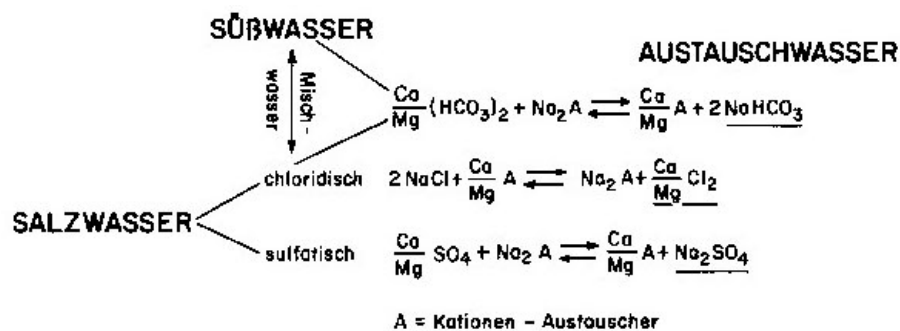
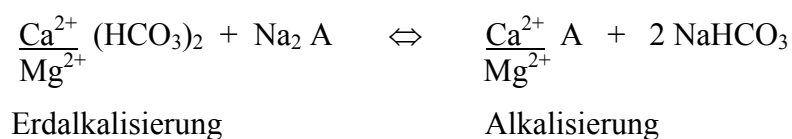


Abb. 6-1: Schema der Bildung von Ionenaustauschwässern (LÖHNERT 1966).

Eine wesentliche Rolle bei der Bildung von Ionenaustauschwässern bilden Alkalisierungs- und Erdalkalisierungsprozesse. Werden an das Sediment gebundenes Ca und/oder Mg (Erdalkalien) gegen Na in der Lösung ausgetauscht, so spricht man von Erdalkalisierung. Geht dagegen Na in Lösung und Ca und/oder Mg werden an den Ionenaustauscher gebunden, so wird dieser Prozess als Alkalisierung bezeichnet. Da Ca über eine höhere Bindungsintensität verfügt als Mg, weisen alkalisierte Wässer häufig einen relativ höheren Mg- als Ca-Gehalt in Lösung auf.



$\text{NaHCO}_3$ -Wässer stellen die häufigsten natürlichen Austauschwässer dar und wurden in den Untersuchungsgebieten mehrfach beschrieben (Kap. 7). Aufgrund der Entstehungsgeschichte süßen Grundwassers auf den Ostfriesischen Inseln (Versickerung von Niederschlägen und Anreicherung im Untergrund bei gleichzeitiger Verdrängung von Salzwasser) ist die Bildung



von  $\text{NaHCO}_3$ -Wässern durch Aussüßung anzunehmen. In Bezug auf Ionenaustauschprozesse an Feststoffen kann von folgenden Reaktionen ausgegangen werden. Erdalkalireiche, süße Wässer dringen in größere, mit  $\text{NaCl}$ -Wasser erfüllte Tiefen vor. Bei diesem Vorgang wird das  $\text{NaCl}$ -Wasser verdrängt, die  $\text{Na}$ -Belegung der ehemals im Ionengleichgewicht mit dem  $\text{NaCl}$ -Wasser stehenden Austauschersubstanzen entsprechend der neuen Gleichgewichtsverhältnisse an das Süßwasser abgegeben und äquivalente Mengen Erdalkali-Ionen am Austauscher fixiert (HAHN 1982). Ein neues Gleichgewicht hat sich eingestellt, welches durchaus auch stabil bleiben kann, wenn sich die Salz-Süßwassergrenze nicht signifikant verschiebt. Enthält der Grundwasserleiter keine oder nur sehr wenig Austauscherplätze, können derartige Wässer auch durch Wechselwirkungen zwischen Süß- und Salzwasser im Untergrund entstehen. In den Untersuchungsgebieten wurden außerdem häufig  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ -Wässer vorgefunden. Wässer dieses Typs werden entweder durch Erdalkalisierung oder durch den rein chemischen Prozess der Karbonatauflösung und damit Anreicherung des Wassers an Erdalkalien gebildet (Kap. 7).

Da wenig Schwankungen in der chemischen Zusammensetzung der Grundwässer über die Zeit beobachtet wurden, kann von einem Gleichgewicht zwischen Grundwasserleiter und Grundwasser ausgegangen werden. Entweder sind alle Ionenaustauscherplätze belegt, so dass kein weiterer Ionenaustausch sichtbar ist oder Ionenaustauschvorgänge sind generell vernachlässigbar und die Zusammensetzung der Grundwässer wird durch die Mischung zwischen Süß- und Salzwasser, ggf. die Auflösung von Karbonaten, bestimmt. Diese Frage konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend geklärt werden. Eine Vermischung beider Prozesse ist anzunehmen, wobei lokal in Abhängigkeit vom Aufbau des Grundwasserleiters Ionenaustauschprozesse überwiegen können.

## 6.2 Halogenierungsprozesse

Das Vorkommen von analytisch meist als AOX erfassten Organohalogenverbindungen in Gewässern, Böden und Sedimenten wurde lange Zeit als anthropogen verursacht angesehen. Der AOX-Messwert wird daher üblicherweise als Parameter zur Bewertung der Gewässer- und Grundwasserqualität herangezogen. Die Ländergemeinschaft Wasser (LAWA) entwickelte Ende der 80'er Jahre ein Klassifikationsschema für Wasserinhaltsstoffe zur Festlegung von Qualitätszielen für gefährliche Stoffe, das den AOX in folgende Güteklassen einteilt (FOKUHL 1999):

<u>Güteklasse</u>	<u>Bezeichnung</u>	<u>AOX-Zielvorgabe</u>
I	anthropogen unbelastet: geogener Hintergrundwert	0 µg/L
I - II	sehr geringe Belastung: bis halber Wert der Zielvorgabe	≤ 10 µg/L
II	mäßige Belastung: Einhaltung der Zielvorgabe	≤ 25 µg/L
II - III	deutliche Belastung: bis zweifacher Wert der Zielvorgabe	≤ 50 µg/L
III	erhöhte Belastung: bis vierfacher Wert der Zielvorgabe	≤ 100 µg/L
III - IV	hohe Belastung: bis achtfacher Wert der Zielvorgabe	≤ 200 µg/L
IV	sehr hohe Belastung: größer achtfacher Wert der Zielvorgabe	≥ 200 µg/L

Halogenhaltige organische Verbindungen sind zwar häufig synthetischen Ursprungs und u.a. in Lösungs-, Schädlingsbekämpfung- und Kühlmitteln sowie Schmierstoffen enthalten (MERKEL & SPERLING 1996), können aber auch natürlichen Quellen entstammen (Kap. 3.6.2). Nach SCHÖLER & NIEDAN (2000) überschreitet z.B. die natürliche Bildung von Chlormethan, Trichlormethan, Tetrachlormethan u.a. die anthropogene Synthese das Zehn- bis Einhundertfache. Es wird angenommen, dass die natürlichen Organohalogenverbindungen durch die

Halogenierung von vorhandenen organischen Stoffen, z.B. Fulvosäuren, Huminsäuren und Huminstoffen, gebildet werden. Die natürliche Bildung von Organohalogenen wurde in der Literatur bereits mehrfach beschrieben (ASPLUND 1992, GRIBBLE 1998, GRIMVALL 1995, MÜLLER & SCHMITZ 1985, NEIDLEMAN & GEIGERT 1986). So wiesen DOMINIK et al. (1981) in Sedimenten des Bodensees, die bereits vor 1880 abgelagert wurden und erwartungsgemäß keine schwerlöslichen, anthropogenen Chlorkohlenwasserstoffe enthalten konnten, erhöhte AOX-Konzentrationen nach. Untersuchungen von präindustriellen Torfen und von mehrere Jahrhunderte alten Grundwässern ergaben z.T. bedenklich hohe Gehalte an AOX. Die höchsten Konzentrationen wurden dabei in besonders huminstoffreichen Torfproben analysiert (SCHÖLER & HAIBER 1997). Aufgrund der geschilderten Sachverhalte sollte die oben genannte Klassifizierung der Wasserinhaltsstoffe nicht pauschal angewendet werden. Bezüglich des AOX sind die lokalen geogenen Einflüsse unbedingt zu berücksichtigen.

Derzeit werden zwei mögliche Prozesse der natürlichen Halogenierung von organischen Substanzen diskutiert, die im Folgenden kurz erläutert werden sollen.

#### a) Biotische Halogenierung mittels Haloperoxidasen

Auf biotischem Weg entstehen Organohalogene überwiegend durch die enzymatisch katalysierte Halogenierung im Sediment enthaltener organischer Substanz (z.B. Humus, Torf) oder im Wasser gelöster Huminstoffe (NAUMANN 1993). Die entsprechenden Enzyme, auch Haloperoxidasen genannt, sind in der Lage, anorganische Halogenide zu oxidieren und so für den Einbau in organische Materie verfügbar zu machen. Die Reaktion verläuft nach folgendem allgemeinen Schema:



R-H = organisches Substrat

Hal<sup>-</sup> = Halogenid-Ion

Die Anwesenheit von Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ist unabdingbar für diese Reaktion, die demnach aerobe oder zumindest nur schwach reduzierende Verhältnisse benötigt. Eine wichtige Rolle spielt des Weiteren der pH-Wert, da Haloperoxidasen ihre höchste Aktivität bei pH-Werten zwischen 3 und 5 (NKUSI et al. 1994) erreichen. Eine natürliche Halogenierung wird also bevorzugt in Oberflächenwässern, der ungesättigten Bodenzone bzw. in oberflächennahen Grundwässern stattfinden.

#### b) Abiotische Halogenierung

Abiotische Halogenierungsprozesse sind bekannt, bisher jedoch wenig untersucht. Meist erfolgen diese durch die Anlagerung von Halogeniden an organische Verbindungen. Nach SCHÖLER & NIEDAN (2000) können Huminstoffe auf abiotischem Weg Iodid einbauen. Außerdem erscheint eine Addition von HCl an chinoide Strukturen der Huminstoffe möglich. Auch SILK et al. (1997) stellten einen geringen Einbau von <sup>36</sup>Cl in Huminstoffe fest.

Schwierigkeiten bereitet jedoch die Zuordnung eines halogenorganischen Moleküls zu einer der natürlichen Quellen sowie die Unterscheidung zwischen natürlichem oder anthropogenem Eintrag. Prinzipiell ist ein anthropogener Eintrag organischer Halogene auf den Inseln Langeoog und Norderney als unwahrscheinlich anzusehen. Eine natürliche Bildung der Organohalogene ist eher anzunehmen. Im Hinblick auf diese Möglichkeit ist die von FOKUHL (1999) gemachte Beobachtung, dass die AOX-Messwerte in den küstennahen Bezirken Brake,

Aurich und Stade höher als die in küstenfernen Gebieten sind, plausibel. Zum Einen besteht in Küstennähe ein erhöhtes Angebot an Halogeniden (z.B. durch Seaspray), zum Anderen kommen in der Marsch häufig Niedermoore und Feuchtgebiete mit hohen Gehalten organischen Materials vor. Der Zusammenhang zwischen dem Angebot an Halogeniden, organischem Material und den AOX-Konzentrationen zeigt sich auch auf den untersuchten Ostfriesischen Inseln. Die mit hoher Wahrscheinlichkeit anthropogen unbeeinflussten Sediment- und Grundwasserproben L19 von Langeoog weisen neben den höchsten TOC- bzw. DOC-Gehalten auch die höchsten AOX-Konzentrationen, sowohl im Sediment als auch im Grundwasser, auf. Wie von SCHÖLER & NIEDAN (2000) beschrieben, korreliert die Menge an Organohalogenverbindungen in Sedimenten mit den verfügbaren Kohlenstoffverbindungen und dem Halogenidanteil. Die Gehalte an AOX sind analog zu den Gehalten an TOC vom pH-Wert abhängig. Alle drei Parameter zeigen in den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Sedimentproben eine Verknüpfung mit der Entnahmetiefe (Kap. 5.1.2, Tab. 5-2 und 5-3). Hohe AOX-Konzentrationen treten also bevorzugt in huminstoffreichen, oberflächennahen Horizonten mit niedrigen pH-Werten zwischen 3,4 und 4,6 auf. Dies sind ideale Bedingungen für eine natürliche biotische Organohalogenbildung. Auch das für eine Halogenierung organischen Materials benötigte Oxidationsmittel, wie Wasserstoffperoxid, sowie Halogenide sollten in den oberflächennahen Sedimenten der Inselstandorte vorhanden sein. Nicht auszuschließen ist zudem eine abiotische Halogenierung.

AOX können mikrobiologisch nur sehr langsam abgebaut werden. Da die bei Chlorierungsreaktionen gebildeten Organohalogenverbindungen zum Teil wasserlöslich sind, werden diese aus dem Oberboden oder dem Sediment in das Grundwasser eingetragen. Hinzu kommen luftbürtige AOX-Immisionen durch den Niederschlag, die in Untersuchungsgebieten jedoch im Vergleich zu den AOX-Konzentrationen im oberflächennahen Grundwasser gering sind (Kap. 5.2.2). Wie bereits beschrieben, nimmt der AOX-Gehalt im Sediment mit der Tiefe ab. Wird von einer durch Experimente (FOKUHL 1999) belegten Desorption von AOX ausgegangen, ist es wenig verwunderlich, dass die oberflächennahen Grundwässer der DF im Vergleich zu den tieferen Grundwässern der VM verhältnismäßig hohe AOX-Konzentrationen aufweisen. Zudem kann es auch in der wässrigen Phase durch die Chlorierung von gelösten Huminstoffen zur AOX-Bildung kommen, jedoch nur wenn die oben beschriebenen, für diesen Prozess notwendigen bzw. günstigen Randbedingungen erfüllt sind (pH-Wert,  $H_2O_2$ ). Dies ist in den oberflächennahen Grundwässern gegeben. Allerdings können auch im Grundwasserleiter eingeschaltete Torflagen Organohalogene an das Grundwasser abgeben, so dass auch in größeren Tiefen verfiltrierte Messstellen u.U. erhöhte AOX-Gehalte aufweisen. Den eben genannten Desorptions-Prozessen steht gegenüber, dass AOX häufig durch Sorption aus dem Wasser in den Boden übergehen. Dabei verfügt Torf über ein höheres Sorptionspotential als Sand (FOKUHL 1999), welcher das sorbierte AOX dann bei wechselnden Milieubedingungen auch schneller wieder abgibt. Der AOX-Gehalt im Grundwasser ist demnach ständigen Veränderungen unterworfen, die Intensität der Änderungen nimmt in der Regel mit der Tiefe unter GOK ab. FOKUHL (1999) untersuchte weiterhin die Charakteristik des AOX im Grundwasser und kam zu dem Ergebnis, dass vorwiegend schwerflüchtige Verbindungen mit einem Durchmesser  $< 0,45 \mu m$  sowie einem hohen Anteil anionischer Verbindungen vorliegen (anionische Fraktionen: z.B. Huminstoffe, Fettsäuren, Carbonsäuren und Phenole). Letztere bestehen zum Großteil aus anionischen größeren Molekülen, Komplexen und Aggregaten.

Um die Vermutung einer geogenen, eventuell biotischen Halogenierung organischer Materie auf den betrachteten Inselstandorten zu untermauern, wurde in enger Zusammenarbeit mit der GBF (Gesellschaft für Biotechnologische Forschung) mittels eines Enzymtests versucht, qualitativ Haloperoxidasen in den Grundwässern der Untersuchungsgebiete nachzuweisen. Exemplarisch wurden hierfür die oberflächennahen Grundwässern der Messstellen L4, L13,

L19, L22 sowie Grundwässern der VM 129, 123o, 123m und 123u von Langeoog beprobt. Die Grundwasserproben wurden dazu direkt nach der Entnahme tiefgefroren, um eine weitere enzymatische Reaktion während des Transports zu unterbinden. Als Referenz des Versuchs diente die Chlorid-Peroxidase aus *Caldariomyces fumago* Fluka 25810. Dieses Enzym zeichnet sich durch eine sehr hohe Katalyseaktivität aus und ist relativ stabil.

Versuchsbeschreibung: Einer farblosen TMB-Reaktionslösung (Tetramethylbenzidin) wurden jeweils neben einem Natriumacetat-Puffer (pH 5,5) die Enzymlösung aus *Caldariomyces fumago* (Referenz) bzw. die o.g. Grundwasserproben zudosiert. Eingeleitet wurde die Reaktion durch Zugabe von  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Durch die enzymatisch katalysierte Reaktion wird eine farblose Substanz (TMB) in ein gefärbtes Produkt (Blaufärbung) umgewandelt. Nach 10 Minuten Reaktionszeit wurde die Reaktion durch Zugabe 1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gestoppt, es erfolgte ein sofortiger Farbumschlag von blau nach gelb. Über die Messung der optischen Dichte wurde anschließend die Konzentration des gebildeten Produkts in einem speziellen Photometer („ELISA-Reader“) gemessen. Dieser Messwert ist direkt proportional der Enzymmenge.

Als Ergebnis ist festzustellen, dass in allen untersuchten Grundwässern der DF Peroxidasen nachgewiesen werden konnten, während die Grundwässer der VM Langeoogs keine nachweisbaren Enzyme enthalten. Es ist also davon auszugehen, dass eine biotische Halogenierung organischer Substanzen im oberflächennahen Grundwasser und/oder im Boden und den Sedimenten der ungesättigten Zone in den Untersuchungsgebieten möglich ist. Diese Organohalogene würden dann auf dem Fließpfad des Grundwassers in tiefere Schichten transportiert, ggf. sorbiert und/oder dort bereits vorhandene AOX aus dem Sediment desorbiert. Eine Neubildung von Organohalogenen auf biotischem Weg ist im Filterbereich der untersuchten VM unwahrscheinlich.

## 7 Hydrochemische Klassifizierung und Bewertung der Grundwässer

Grundwässer können nach verschiedenen Kriterien beurteilt werden. Verbreitet ist die Klassifikation nach der chemischen Zusammensetzung.

Das PIPER-Diagramm stellt Ionenverhältnisse dar, anhand derer eine Einteilung der Grundwässer in hydrochemische Typen erfolgt. In dieser Darstellung wird ein Vier-Stoff-Diagramm mit zwei Drei-Stoff-Diagrammen kombiniert. Das Vierstoff-Diagramm ist dabei in 100 Felder unterteilt, die durch zweistellige Kennzahlen von 00 bis 99 gekennzeichnet sind. FURTAK & LANGGUTH (1967) führten Kennziffern-Intervalle ein, Grundwasserproben werden einzelnen Typisierungsfelder zugeordnet (Abb. 7-1).

Die Grundwässer der Insel Langeoog sind nach dieser Methode überwiegend als alkalische Wässer einzustufen, die Wässer der VM sind meist hydrogenkarbonatisch, die oberflächennahen Grundwässer der DF sulfatisch-chloridisch (Abb. 7-2 bis 7-6). Auffällig verhalten sich die Grundwässer der VM 100 (21,00 – 23,00 m u. GOK), 106u (18,50 - 19,50 m u. GOK) und 130u (31,50 - 46,50 m u. GOK). Während die Messstelle 106u und 130u in der Brackwasserschicht verfiltert sind, also unmittelbar vom Meerwasser beeinflusst werden, liegt der Filter der VM 100 oberhalb, jedoch nahe der Süß-/Salzwassergrenze. Der Einfluss des die Süßwasserlinse unterlagernden Salzwassers wird zwar deutlich, ist aber nicht so stark ausgeprägt wie bei VM 106u oder 130u. Starke Varianzen der Grundwasserchemie in unterschiedlichen Filtertiefen konnten bei der VM 123 beobachtet werden. Bei der Errichtung dieser Messstelle wurde in 30 - 36 m u. GOK eine Schluffschicht mit z.T. erheblichem Tonanteil erbohrt, die lokal das tiefere Grundwasser von 123u (39,00 – 41,00 m u. GOK) gegen Stoffeinträge von der Geländeoberfläche schützt. Beeinflussungen durch die Süßwasserlinse unterlagerndes Salzwasser sind nicht gegeben, da die Süßwasserlinse unter den Heerenhusdünen besonders mächtig ist. Der hohe Sulfatanteil der Messstellen 123o und 123m könnte auf abgelagerte Baumaterialien oder organischen Substanzen im Grundwasserleiter zurückzuführen sein, eindeutige Belege fehlen.

Der Chemismus der oberflächennahen Grundwässer ist je nach Lage der DF und den Karbonatgehalten der Grundwasserleiter bzw. deren Deckschichten variabel. Die DF L9 und L22 liegen relativ ungeschützt, so dass diese stark von marinen Aerosolen beeinflusst werden. Auch die Grundwässer von L4 zeigen diese Beeinflussung, jedoch ist hier der Grundwasserleiter sehr karbonatreich, so dass das im Grundwasser gelöste Hydrogenkarbonat die Anionen Chlorid und Sulfat überwiegt. Die DF L19 befindet sich in einem Braunseggensumpf umgeben von Birkenwäldchen und ist touristisch nicht zugänglich. Anthropogene Einträge konnten nicht nachgewiesen werden. Aufgrund der geschützten Lage ist die marine Beeinflussung nur undeutlich ausgeprägt. Ebenfalls verhältnismäßig vor Seaspray geschützt liegt die DF 13. Hier muss jedoch von einer anthropogenen, ggf. fäkalen Beeinträchtigung ausgegangen werden. Diese DF befindet sich in einem blickdichten Birkenwäldchen unmittelbar an einem Rastplatz östlich des Ortes Langeoog. Hier wurden neben den höchsten Chloridgehalten (bis 150 mg/l) auch die höchsten Konzentrationen an Nitrat (bis 13 mg/l), Phosphat (bis 7 mg/l) und Kalium (bis 12 mg/l) der DF von Langeoog gemessen.

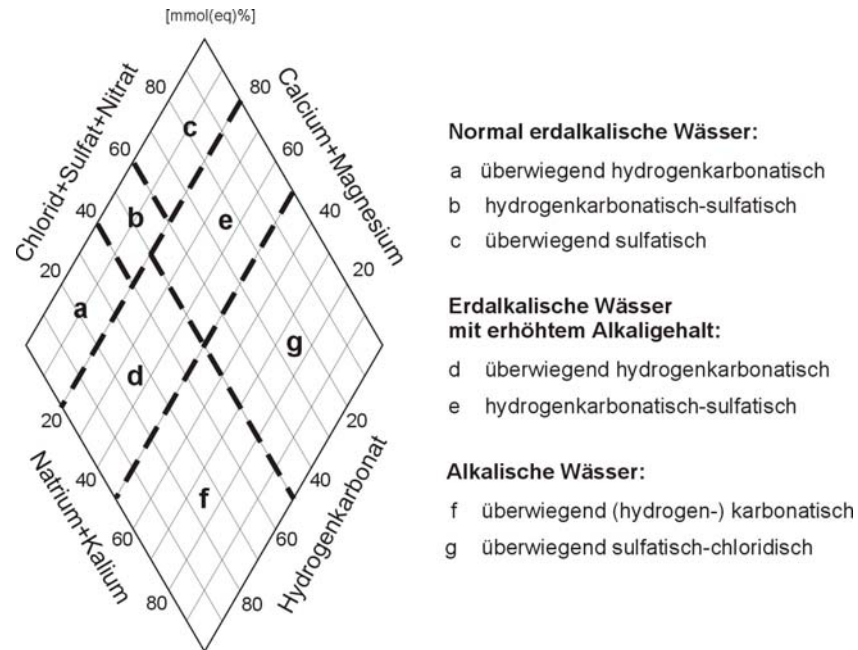


Abb. 7-1: Vierstoff-Diagramm zur qualitativen Charakterisierung der Wässer mittels Kennzahlen-Intervallen (nach FURTA & LANGGUTH 1967).

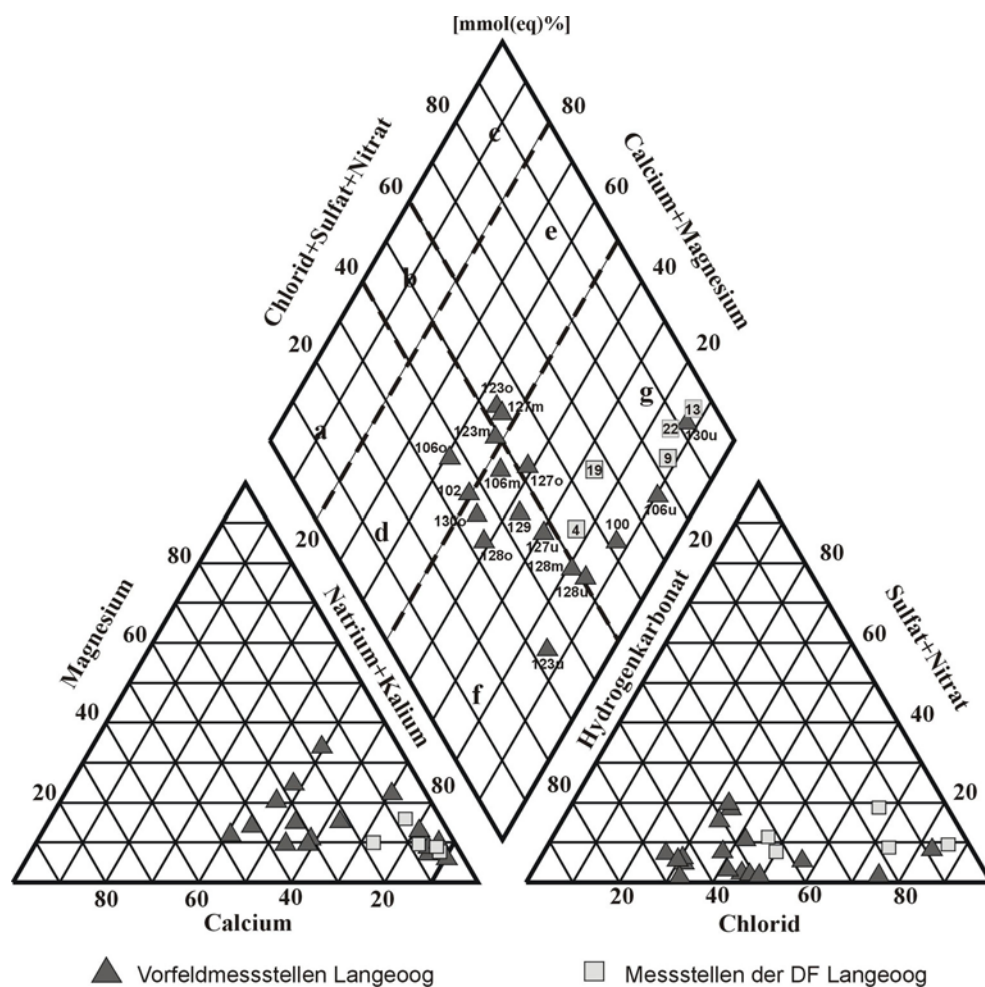


Abb. 7-2: PIPER-Diagramm der Grundwasserproben von Langeoog; Daten = Mittelwerte des Messzeitraumes von Dezember 1999 bis August 2001.



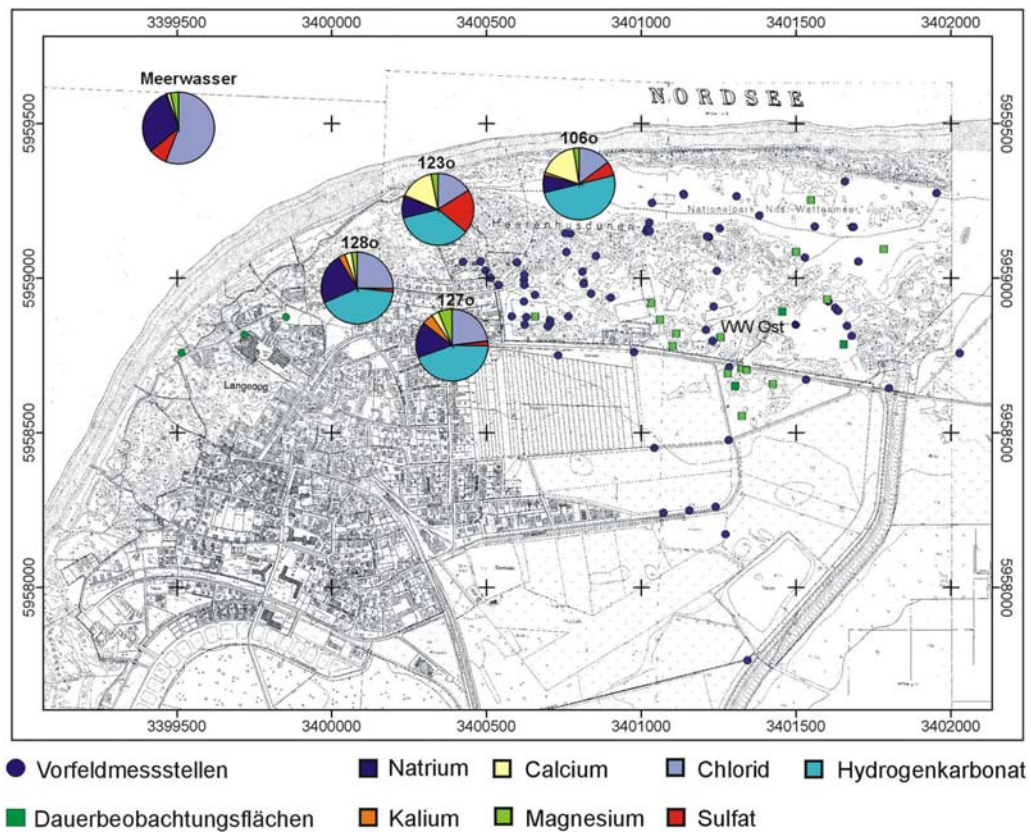


Abb. 7-3: Ionenverhältnisse der Grundwasserproben aus einer Tiefe von -5 bis -10 m NN von Langeoog; Daten = Mittelwerte in mg/L des Messzeitraumes von Dezember 1999 bis August 2001.

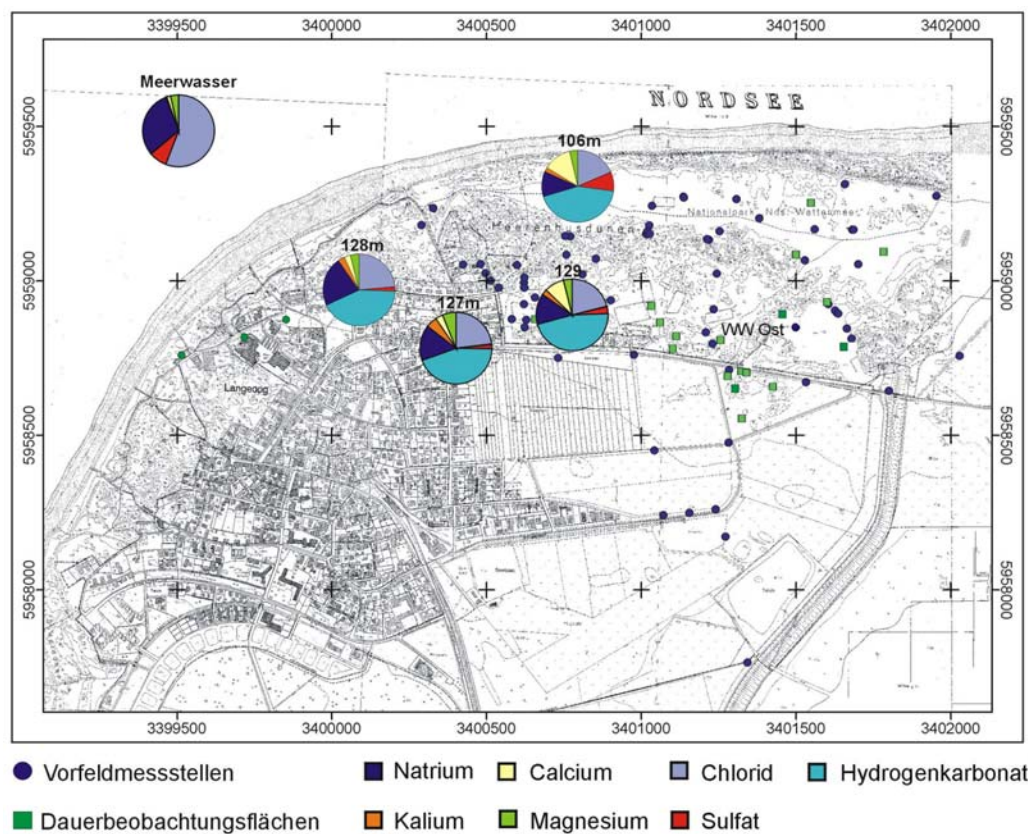


Abb. 7-4: Ionenverhältnisse der Grundwasserproben aus einer Tiefe von -10 bis -15 m NN von Langeoog; Daten = Mittelwerte in mg/L des Messzeitraumes von Dezember 1999 bis August 2001.

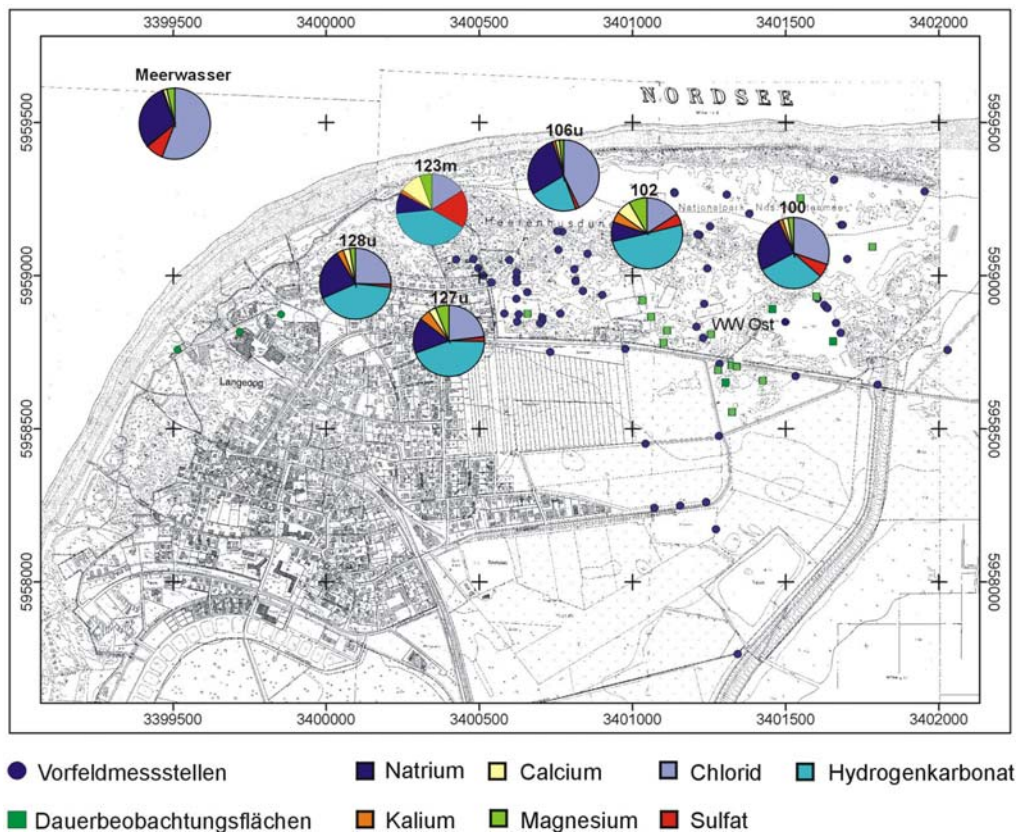


Abb. 7-5: Ionenverhältnisse der Grundwasserproben aus einer Tiefe von -15 bis -20 m NN von Langeoog; Daten = Mittelwerte in mg/L des Messzeitraumes von Dezember 1999 bis August 2001.

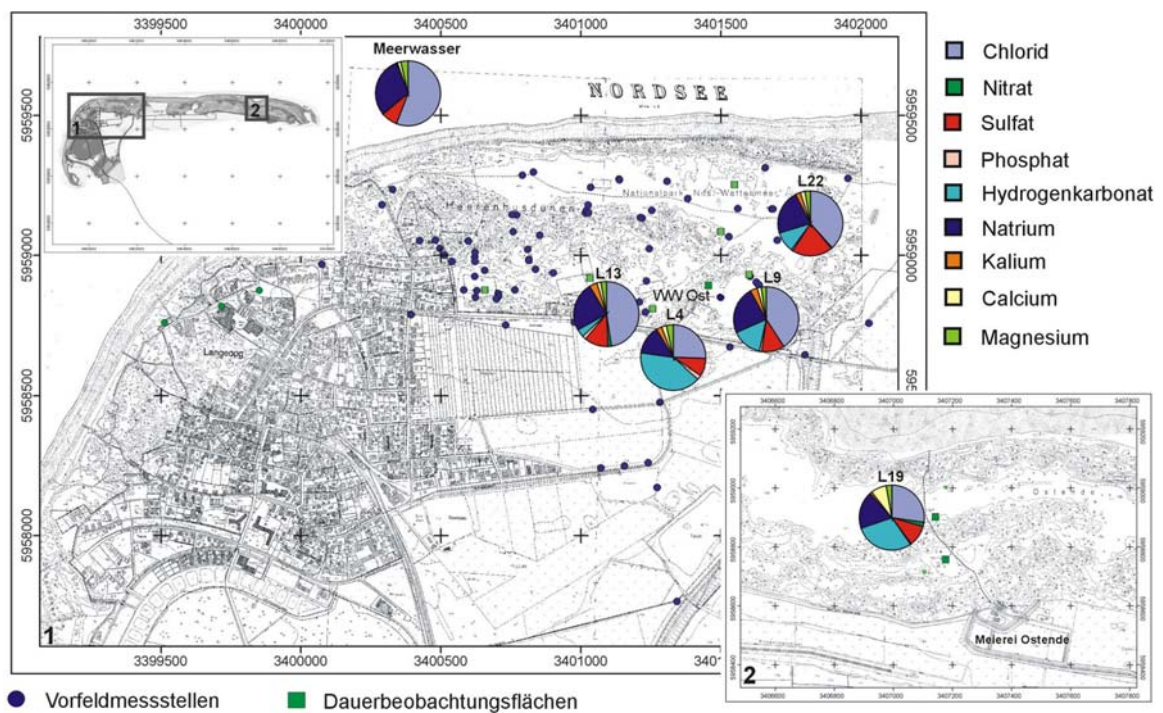


Abb. 7-6: Ionenverhältnisse im Grundwasser der DF von Langeoog, Daten = Mittelwerte in mg/L des Messzeitraumes von Dezember 1999 bis August 2001.



Auch die Grundwässer von Norderney sind als alkalische, überwiegend hydrogenkarbonatische Wässer einzustufen, jedoch ist hier in den Grundwässern der VM der Anteil an Erdalkalien erhöht (Abb. 7-7). Norderney verfügt über eine mächtigere Süßwasserlinse als Langeoog, die Filterstrecken der VM liegen weit oberhalb der Süß-/Salzwassergrenze. Die Beeinflussung durch das die Linse unterlagernde Salzwasser ist nicht so signifikant wie auf Langeoog.

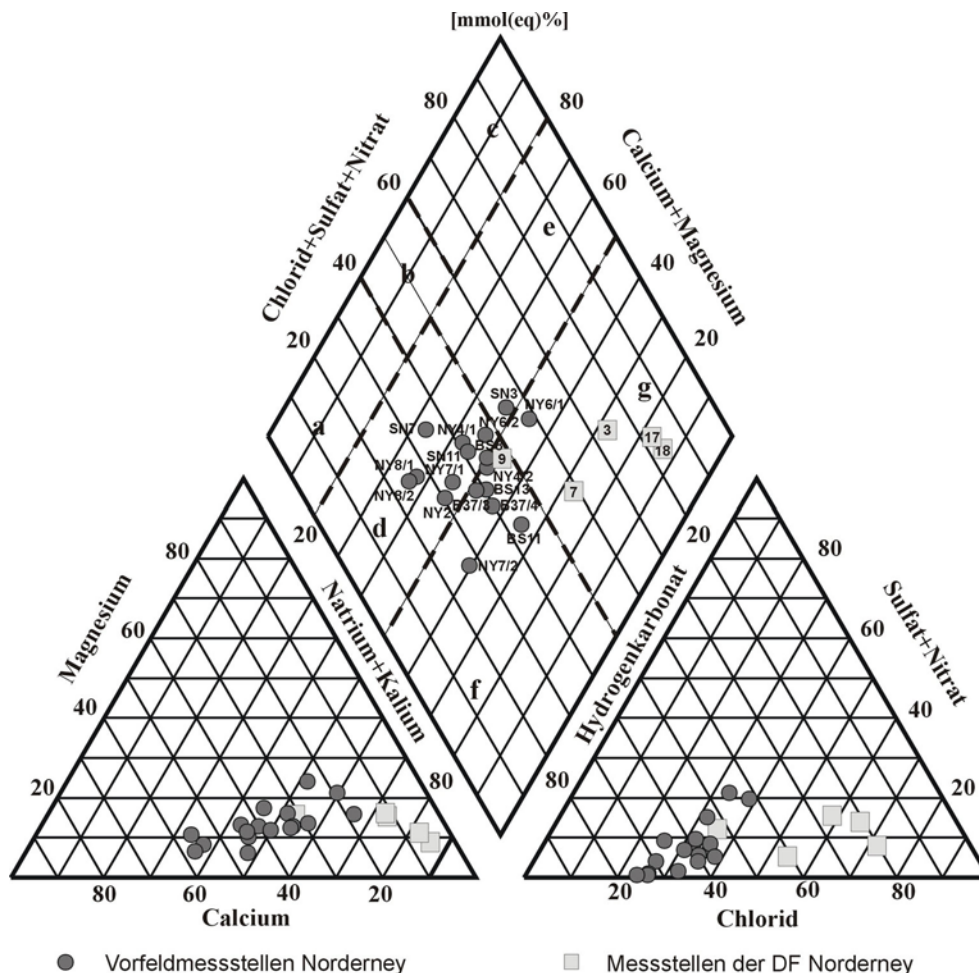


Abb. 7-7: PIPER-Diagramm der Grundwasserproben von Norderney; Daten = Mittelwerte des Messzeitraumes von Januar 2000 bis August 2001.

Die oberflächennahen Grundwässer sind auf Norderney je nach Lage und Karbonatgehalt der Grundwasserleiterdeckschichten hydrochemisch unterschiedlich (Abb. 7-7 und Abb. 7-8). So ist das Grundwasser der in einem Birkenwäldchen an der Barkenledge gelegenen Messstelle N9 überwiegend hydrogenkarbonatisch. Die Karbonatanalyse (Kap. 5.1.3) ergibt für die Sedimente dieser DF Gehalte bis zu 1,8 % Karbonat. Ebenfalls hohe Hydrogenkarbonatanteile zeigt das Grundwasser der DF N7. Die übrigen Grundwässer der DF stammen aus entkalkten Grundwasserleitern und sind als überwiegend sulfatisch-chloridisch einzustufen. Ursache ist, wie auf Langeoog, der Eintrag mariner Aerosole durch Versickerung.

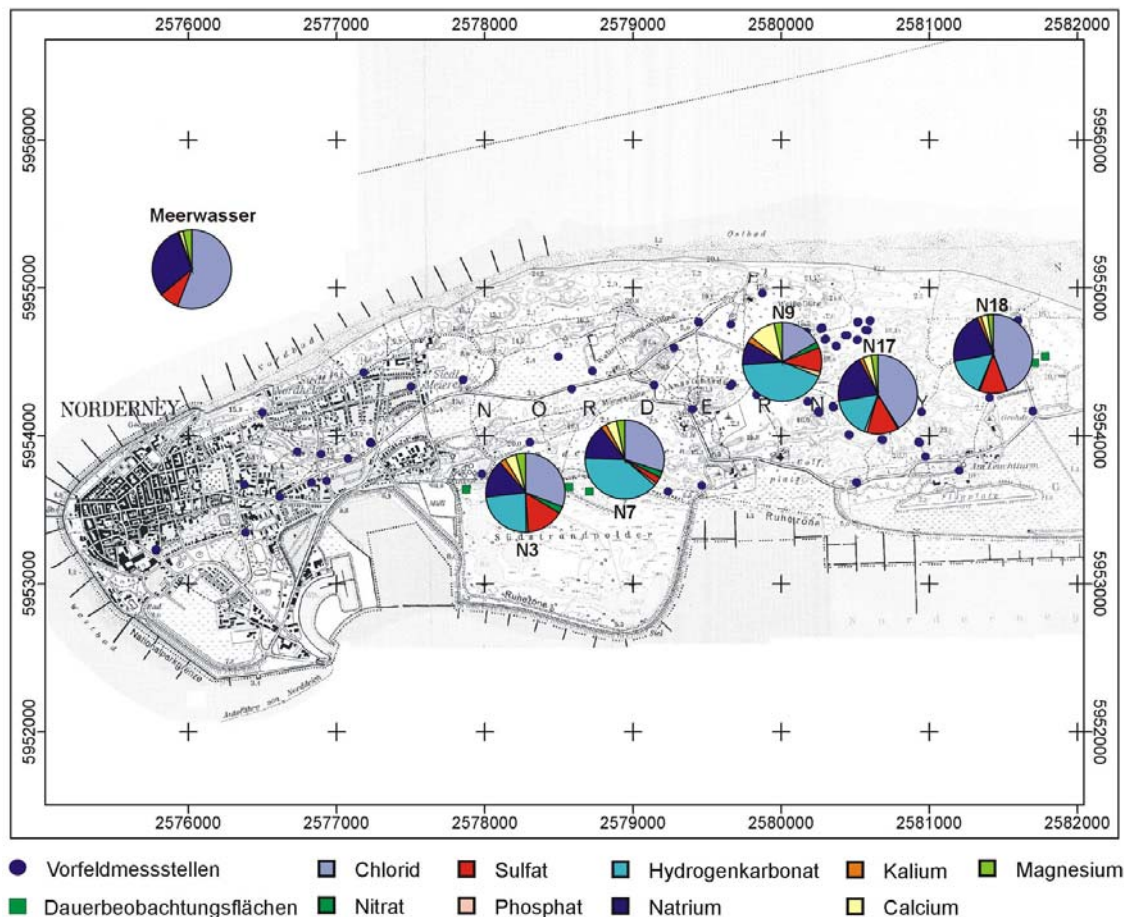


Abb. 7-8: Ionenverhältnisse im Grundwasser der DF von Norderney, Daten = Mittelwerte in mg/L des Messzeitraumes von Januar 2000 bis August 2001.

ALEKIN (1962) stellte eine Systematisierung von Grundwässern nach folgendem Schema auf (Abb. 7-9). Danach werden alle natürlich vorkommenden Ionen nach dem vorherrschenden Anion in drei Klassen unterteilt, die sich wiederum in Gruppen untergliedern lassen nach dem dominierenden Kation. Letztendlich teilt sich jede Gruppe in drei Wassertypen auf, die nach den Äquivalent-Ionenverhältnissen festgelegt werden (Tab. 7-1).

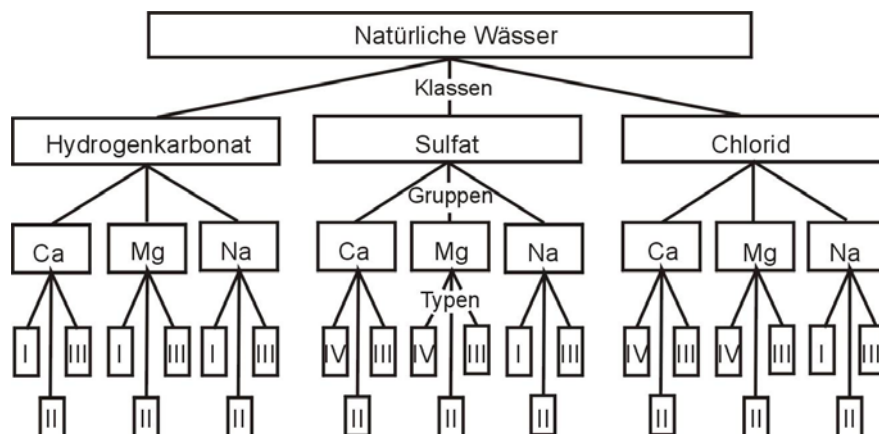


Abb. 7-9: Einteilungsschema für die natürlichen Wässer nach den vorherrschenden Anionen und Kationen und dem Verhältnis zwischen den wichtigsten Ionen (ALEKIN 1962).

Tab. 7-1: Einteilung in Grundwassertypen nach den Ionenverhältnissen (ALEKIN 1962).

Wassertyp	Ionenverhältnisse [mmol(eq)/l]
I	$[\text{HCO}_3^-] > [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$
II	$[\text{HCO}_3^-] < [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}] < [\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$
III	$[\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}] < [\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ oder $[\text{Na}^+] < [\text{Cl}^-]$
IV	$[\text{HCO}_3^-] = 0$

Diese Klassifizierung auf die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Analysen angewendet, führt zu den in Tab. 7-2 und Tab. 7-3 dargestellten Ergebnissen.

Fast alle Grundwässer der untersuchten Gebiete gehören sowohl dem Typ I als auch bezüglich des  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ -Verhältnisses dem Typ III an. Wässer beider Typen können durch Ionenaustausch entstehen. Zu vermerken ist, dass Meerwasser nach ALEKIN (1962) dem Typ III zuzuordnen ist. Es könnte sich bei den Grundwässern der betrachteten Messtellen also auch um genetisch gemischte und nur eventuell durch Kationenaustausch veränderte Wässer handeln. Möglich ist auch eine Überlagerung beider Prozesse.

Tab. 7-2: Klassifizierung der Grundwasserproben von Langeoog nach ALEKIN (1962).

Messtelle	$[\text{Mg}^{2+}]/[\text{Ca}^{2+}]$	$[\text{Na}^+]/[\text{Cl}^-]$	Gruppe - Klasse	Typ
100	0,6	0,6	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
102	0,8	0,4	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
106o	0,1	0,4	$\text{Ca}^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
106m	0,2	0,4	$\text{Ca}^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
106u	0,7	0,4	$\text{Na}^+$ - Chloridwasser	I / III
123o	0,1	0,4	$\text{Ca}^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
123m	0,3	0,4	$\text{Ca}^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
123u	0,4	1,0	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I
127o	0,1	0,4	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
127m	0,3	0,4	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
127u	1,2	0,5	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
128o	0,1	0,7	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
128m	0,8	0,6	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
128u	0,9	0,7	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
129	0,3	0,4	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
130o	0,1	0,5	$\text{Ca}^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
130u	1,8	0,3	$\text{Na}^+$ - Chloridwasser	I / III
L4	0,8	0,4	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
L9	0,8	0,4	$\text{Na}^+$ - Chloridwasser	I / III
L13	0,9	0,3	$\text{Na}^+$ - Chloridwasser	I / III
L19	0,3	0,5	$\text{Na}^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
L22	0,9	0,4	$\text{Na}^+$ - Chloridwasser	I / III

Tab. 7-3: Klassifizierung der Grundwasserproben von Norderney nach ALEKIN (1962).

Messstelle	$[Mg^{2+}]/[Ca^{2+}]$	$[Na^+]/[Cl^-]$	Gruppe - Klasse	Typ
NY2	0,1	0,5	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY4/1	0,1	0,3	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY4/2	0,2	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY6/1	0,2	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY6/2	0,1	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY7/1	0,2	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY7/2	0,5	0,7	$Na^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY8/1	0,1	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
NY8/2	0	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
SN3	0,1	0,5	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
SN7	0,1	0,3	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
SN11	0,1	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
BS8	0,1	0,3	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
BS11	0,3	0,5	$Na^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
BS13	0,1	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
B37/3	0,4	0,4	$Na^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
B37/4	0,2	0,6	$Na^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
N3	0,6	0,3	$Na^+$ - Chloridwasser	I / III
N7	0,5	0,3	$Na^+$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
N9	0,2	0,4	$Ca^{2+}$ - Hydrogenkarbonatwasser	I / III
N17	0,6	0,3	$Na^+$ - Chloridwasser	I / III
N18	0,7	0,4	$Na^+$ - Chloridwasser	I / III

Aufgrund der Tatsache, dass die Tendenz der Stoffe zu Adsorption und **Ionenaustausch** an und in Bodenpartikeln und zur Bindung an biologisches Material Einfluss auf die Zusammensetzung eines Grundwassers haben kann (HELLMANN 1999), ist eine Einteilung der Grundwässer über die Festlegung von Austauschwasser-Typen möglich. Einen ersten Hinweis auf Austauschvorgänge im Grundwasser liefert die Wasserhärte; Austauschprozesse sind gegeben, wenn Karbonathärte  $\geq$  Gesamthärte ist (HÖLTING 1996). Ein weiteres Indiz für Ionenaustausch sind das  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ - und das  $Na^+/Cl^-$ -Äquivalent-Ionenverhältnis (SCHMALZ 1998, ALEKIN 1962), wenn gilt:

$$\frac{[Mg^{2+}]}{[Ca^{2+}]} > 0,2 \quad \text{und} \quad \frac{[Na^+]}{[Cl^-]} < 1.$$

Wie aus Tab. 7-2 und 7-3 ersichtlich wird, deutet das  $Na^+/Cl^-$ -Äquivalent-Ionenverhältnis in fast allen analysierten Grundwässern auf Austauschprozesse hin, das  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ -Ionenverhältnis dagegen nicht. Im Fall der VM 123u widersprechen sich diese beiden Kriterien sogar. Da sich die Untersuchungsgebiete im marinen Einflussbereich befinden, sollte dieses Typisierungsverfahren hier nicht angewandt werden. Den o.g. Kriterien nach, handelt es sich bei Meerwasser selbst um ein Austauschwasser. Eine Unterscheidung von situ gebildeten und zuströmenden Austauschwässern oder einer rein chemischen Reaktion zwischen Salz- und Süßwasser (Aussüßung) ist nicht ohne weiteres möglich.

Nach dem  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$ -Äquivalent-Ionenverhältnis handelt es sich lediglich bei den oberflächennahen Grundwässern der DF der Untersuchungsgebiete um Austauschwässer, ebenso wie bei fast allen  $>15$  m u. GOK verfilterten VM von Langeoog. Auch hier kann es sich um eine

marine Beeinflussung durch Seaspray oder die Süßwasserlinse unterlagerndes Salzwasser handeln. Die Entkalkung der Grundwasserleiter zur Pufferung des pH-Wertes kann eine Erdalkalisierung vortäuschen.

Auf Norderney sind nur die Grundwässer der VM NY7/2, BS11 und B37/3 nach diesem Kriterium vom Ionenaustausch betroffen.

Wird nun zusätzlich das Verhältnis von Karbonat- zu Gesamthärte hinzugezogen, ergibt sich, dass lediglich die VM 100, 106u, 123u, 128m, 128u von Langeoog sowie NY7/2 und B37/3 von Norderney Austauschwässer aufweisen.

Die Typisierung eines Grundwassers kann auch nach **Einzelparametern** erfolgen, so z.B. aufgrund der Härte nach KLUT & OLSZEWSKI (1945) (Kap. 5.2.4.2) oder aufgrund des Chloridgehaltes nach SCHOELLER (1962). Danach sind die Grundwässer der VM von Langeoog und Norderney überwiegend als mittel-chloridisch (40-140 mg/l Cl<sup>-</sup>) einzustufen, Ausnahmen bilden die VM 106u und 130u von Langeoog mit meeres- (420-700 mg/l Cl<sup>-</sup>) bzw. über-chloridischen Wässern (> 700 mg/l Cl<sup>-</sup>). Den Untersuchungsgebieten gemeinsam ist, dass die oberflächennahen Grundwässer der DF je nach Lage als oligo- bis mittel-chloridisch zu typisieren sind, analog ihrer Position im PIPER-Diagramm.

Ein Vergleich der vorgestellten Klassifizierungsverfahren zeigt, dass mit Ausnahme des genannten Verfahrens zur Zuordnung von Grundwässern zu Ionenaustauschwässern (hierzu zählt auch die Typisierung nach ALEKIN (1962)) sowohl die Typisierung mittels PIPER-Diagramm oder anderer Darstellungen von Ionenverhältnissen (z.B. in Kreisdiagrammen), und nach Einzelparametern sinnvoll auf küstennahe Grundwässer angewendet werden kann. Im Hinblick auf eine Auswertung bezüglich einer Meerwasserbeeinflussung, welche im küstennahen Bereich von besonderem Interesse ist, erscheint die Darstellung der Ionenverhältnisse, z.B. mittels PIPER-Diagramm, am übersichtlichsten.

## 8 Hydrogeochemische Modellierung

### 8.1 Grundlagen

Eines der am häufigsten verwendeten Programme für die Durchführung hydrogeochemischer Modellrechnungen ist PHREEQC (PARKHURST 1995; PARKHURST & APPELO 1999), welches in der vom USGS frei zur Verfügung gestellten Version PHREEQC Interactive 2.8.0.0 für diese Arbeit verwendet wurde. Basis dieses Programms ist das Gleichgewichtskonstanten-Verfahren, die dazu benötigten thermodynamischen Datensätze für alle relevanten aquatischen Spezies, Phasen und Minerale sind integriert. Diese liefern allerdings nur bis zu Ionenstärken von 0,5 bzw. ca. 1 zuverlässige Ergebnisse, bei höheren Ionenstärken müsste auf Pitzer-Gleichungen zurückgegriffen werden. Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Rechnungen war dies mit Ionenstärken  $< 0,7$  (Meerwasser nach BENDER (1984)) jedoch nicht notwendig.

Die in PHREEQC getroffene Annahme der Einstellung eines kinetischen Gleichgewichts erschwert die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf natürliche Systeme. Gerade bei Spezies, die zur Komplexbildung neigen sowie bei Redoxreaktionen, die eine ausgeprägte Kinetik aufweisen, durch Mikroorganismen katalysiert werden und Ungleichgewichte über lange Zeiträume halten können, ist dies häufig nicht der Fall (MERKEL & PLANER-FRIEDRICH 2002). Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die korrekte hydrogeochemische Modellierung sind zudem möglichst vollständige und genaue Analysen, Kenntnisse über den mineralischen Aufbau des jeweiligen Grundwasserleiters und ein gutes Systemverständnis. Es ist empfehlenswert, den jeweiligen Fehler der Eingabeparameter anzugeben, da sich diese Unsicherheit gravierend auf die Ergebnisse auswirken kann.

### 8.2 Bestimmung der Anteile Süß-/Salzwasser im Grundwasser mittels inverser Modellierung

Mittels der Inversen Modellierung kann die Herkunft eines Grundwassers rekonstruiert werden. Im Fall der von Meerwasser umgebenen Süßwasserlinsen der Ostfriesischen Inseln, deren süßes Grundwasser vom Niederschlag gespeist wird, kann mit dieser Methode der Mischungsanteil von Meerwasser und Niederschlag als primäre Lösungen in einer Grundwasseranalyse als „Endprodukt“ bestimmt werden. Benötigt werden dazu, neben den Analysen des Meer-, Niederschlags- und Grundwassers, Kenntnisse über mögliche Mineral- und ggf. Gasphasen im Bereich der entsprechenden Messstelle, mit denen das Grundwasser in Gleichgewichtsreaktionen treten kann.

Eine derartige Modellierung wurde für die in drei unterschiedlichen Tiefen verfiltrierte Vorfeldmessstelle 106 von Langeoog vorgenommen. Die Filtertiefen sind der Tab. 4-3 in Kap. 4 zu entnehmen. Von Bedeutung für die Auswahl dieser Messstelle war die Tatsache, dass die VM 106u im oberen Bereich der die Süßwasserlinse unterlagernden Brackwasserzone verfiltert ist. Mit der Messstelle 106 kann daher ein lokales Vertikalprofil durch die Süßwasserlinse betrachtet werden. Um eine eventuell vorhandene jahreszeitliche Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses von Meer- und Niederschlagswasser in 106o, 106m und 106u erkennen zu können, wurden jeweils die Grundwasseranalysen für April 2000, Juli 2000, Oktober 2000, Januar 2001 und April 2001 (Anhang 4) zum Ansatz gebracht. Das Meerwasser wurde definiert über die in Kap. 5.2.1, Tab. 5-8 dargestellten Parameter für Helgoland von BENDER

(1984), das Niederschlagswasser über die in Kap. 5.2.2, Tab. 5-9 angegebene mittlere Zusammensetzung des Regenwassers von Langeoog.

Folgende aquatische Spezies bzw. Parameter wurden bei der Modellierung als Eingabe verwendet:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  und pH-Wert. Der p $\kappa$ -Wert wurde generell mit 4, die Temperatur mit 10 °C angegeben. Als lös-/fällbare Mineral- bzw. Gasphasen wurden Albit, Anorthit, Calcit, Kalifeldspat, Quarz, Ca-Montmorillonit, Illit, Kaolinit, Kalium-Glimmer, Gips,  $\text{CO}_2(\text{g})$  und  $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$  angenommen. Das Vorhandensein von Quarz, nicht näher spezifizierbaren Feldspäten und Calcit im Grundwasserleiter Langeoogs ist durch Analysen belegt (vgl. Kap. 5.1.5 und Anhang 3). Die angenommene Gasphase  $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$  wurde bei den untersuchten Grundwässern der Inseln häufig festgestellt (vgl. Kap. 5.2.4.1), das Vorkommen von  $\text{CO}_2(\text{g})$  ist in der ungesättigten Zone und aufgrund des Vorkommens von organischem Material im Grundwasserleiter plausibel. Die übrigen angenommen Mineralphasen, i.w. Tonminerale, waren für eine Ausbalanzierung der aquatischen Spezies zwingend erforderlich. Ihr Vorhandensein ist wahrscheinlich, da v.a. Tonlinsen, aber auch Schluffe, im Grundwasserleiter häufig anzutreffen sind (vgl. Kap. 5.1.1).

Bei der inversen Modellierung ist ein zugelassener globaler Fehler für die verwendeten Lösungen und/oder ggf. ein Fehler bei der Ausbalanzierung der einzelnen o.g. Spezies anzugeben. Im vorliegenden Fall liegen der globale Fehler für Meerwasser und Grundwasser der Vorfeldmessstellen sowie der zugelassene Fehler bei der Bilanzierung der Spezies bei 5 %. Dieser Fehler ergibt sich aus den Ungenauigkeiten der Wasseranalysen. Aufgrund der recht hohen Abweichung von 17 % in der Ionenbilanz des Niederschlagswassers von Langeoog war es notwendig, den globalen Fehler bzw. die Fehler für die einzelnen Spezies für diese Lösung mit 20 % anzugeben. Dieser Fehler beruht, aufgrund z.T. sehr geringer Probemengen, überwiegend auf einer mit großen Unsicherheiten behafteten Bestimmung der Säurekapazität und damit des  $\text{HCO}_3^-$ -Gehaltes.

Als Ergebnis steht fest, das mittels der jeweils fünf Grundwasseranalysen von April 2000 bis April 2001 für keine der untersuchten Vorfeldmessstellen ein eindeutiger jahreszeitlicher Trend erkennbar war. Abweichungen lagen innerhalb der definierten Fehlergrenzen.

Folgende Mischungsverhältnisse konnten aus den Berechnungen abgeleitet werden:

Mischung zwischen Niederschlags- und Meerwasser in VM 106o  
0,998 : 0,002

Mischung zwischen Niederschlags- und Meerwasser in VM 106m  
0,997 : 0,003

Mischung zwischen Niederschlags- und Meerwasser in VM 106u  
0,970 : 0,030

Es zeigt sich, das unter den für die Modellierung getroffenen Annahmen der Anteil an Meerwasser innerhalb der Süßwasserlinse Langeoogs im Bereich der Messstelle 106 trotz geringer Tiefenlage der Salz-/Süßwassergrenze deutlich weniger als 1 % beträgt. Dieser Meerwasseranteil kann durch Seaspray eingetragen werden. Dies würde bedeuten, dass der Grundwassertransport innerhalb der Linse in rein vertikaler Richtung abwärts erfolgt. Eine innere Konvektion innerhalb der Süßwasserlinse ist dann nicht ersichtlich. Durchmischungen erfolgen durch Diffusion und Dispersion. Diese Vermutung wird durch die Isotopenuntersuchungen von der Insel Norderney (Kap. 5.2.4.4) unterstützt. Auch eine inverse Modellierung zur Bestimmung des Mischungsverhältnisses der Grundwässer aus VM 106o

und VM 106u in VM 106m untermauern diese These. Danach entspricht das Grundwasser in VM 106m zu 97 % dem Grundwasser aus VM 106o.

Die im oberen Bereich der Brackwasserzone verfilterte, also deutlich marin beeinflusste, VM 106u enthält nach obiger Modellierung 3 % Meerwasser. Dieser Meerwasseranteil stammt mit hoher Wahrscheinlichkeit größtenteils aus dem unterlagernden Salzwasser. Außerdem wurde das Mischungsverhältnis von Meerwasser zu Niederschlagswasser in der VM 130u, welche die tiefere Brackwasserzone erschließt, berechnet. Dazu wurden ebenfalls die o.g. Eingabeparameter sowie die Grundwasseranalysen der VM 130u aus dem Januar und April 2001 (Anhang 4) verwendet. Für die Grundwasseranalyse der VM 130u aus dem Januar 2001 ergab sich eine Mischung zwischen Niederschlags- und Meerwasser von 0,930 : 0,070. Im April 2001 betrug das Mischungsverhältnis zwischen Niederschlags- und Meerwasser in dieser Messstelle bis zu 0,925 : 0,075. Aufgrund der langen Filterstrecke der Messstelle sind diese Ergebnisse jedoch nur eingeschränkt auf die tiefere Brackwasserzone übertragbar. Sie lassen jedoch erkennen, dass selbst Grundwasser mit Chloridgehalten bis zu 1491 mg/L im Untergrund der Insel Langeoog weniger als 10 % reines Meerwasser enthält. Der Anteil an Niederschlagswasser dominiert auch hier deutlich.

### 8.3 Evaporation und Grundwasserneubildung

Wie bereits in Kap. 3.4 beschreiben, trägt nur ein Teil des Niederschlages zur Grundwasserneubildung bei. Ein Vielfaches des Niederschlages verdunstet und/oder fließt, sofern möglich, oberirdisch ab. Der oberirdische Abfluss ist bei der geringen Versiegelung und den gut durchlässigen Dünenanden auf der Insel Langeoog vernachlässigbar. Aufgrund der Morphologie der Düneninsel steht jedoch eine große verdunstungswirksame Oberfläche zur Verfügung. Die Verdunstung (Evaporation) verändert die Chemie des Niederschlages im Sinne einer relativen Abreicherung flüchtiger und relativen Anreicherung nicht-flüchtiger Komponenten. Die Zusammensetzung des tatsächlich versickernden und damit zur Grundwasserneubildung beitragenden Wassers kann mit PHREEQC berechnet werden. Hierbei wird dem Niederschlag entsprechend der Evaporation bzw. der prozentualen Grundwasserneubildung Lösungsmittel (Wasser) entzogen, so dass sich der Gehalt der Inhaltstoffe im Vergleich zur initialen Niederschlagsanalyse erhöht. Dieses angereicherte Wasser versickert und reagiert auf dem Weg zur Grundwasseroberfläche mit den Mineral- und Gasphasen der ungesättigten Zone (Grundwasserdeckschichten).

Auch bei diesen Berechnungen wurde das Niederschlagswasser definiert über die in Kap. 5.2.2, Tab. 5-9 angegebene mittlere Zusammensetzung des Regenwassers von Langeoog. Folgende aquatische Spezies bzw. Parameter wurden bei der Modellierung als Eingabe verwendet:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  und pH-Wert. Der p $\epsilon$ -Wert wurde generell mit 4, die Temperatur mit 25 °C angegeben. Als lös-/fällbares Mineral wurde für die äolischen, sandigen, weitestgehend entkalkten Grundwasserdeckschichten lediglich Quarz angenommen. Für die ungesättigte Zone wurde in Anlehnung an MERKEL & PLANER-FRIEDRICH (2002) ein  $\text{CO}_2(\text{g})$ -Partialdruck von 0,01 bar festgelegt und die Lösung damit ins Gleichgewicht gebracht. Die zum Ansatz gebrachten Werte für die Grundwasserneubildung für das Jahr 2000 sind Tab. 3-3 in Kap. 3.4 zu entnehmen. Die Ergebnisse der Modellrechnungen für das Jahr 2000 wurden exemplarisch mit einer Analyse des oberflächennahen Grundwassers der Messstelle L4 vom 25.07.2000 (Anhang 4) verglichen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Evaporation in den Sommermonaten ebenso wie die Sickerwassergeschwindigkeit in den gut durchlässigen Grundwasserdeckschichten der Insel vergleichsweise hoch ist. Die Konzentrationen der Hauptinhaltsstoffe des Grundwassers der oberflächennahen Messstelle L4 variieren im Jahresverlauf zwar deutlich, liegen jedoch meist in ähnlichen Größenordnungen vor (vgl.



Anhang 4). Im Folgenden werden die Ergebnisse der Modellrechnungen für das Jahr 2000 tabellarisch aufgelistet (Tab. 8-1 bis 8-3) und anschließend diskutiert.

Tab. 8-1: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach RENGIER & WESSOLEK (1990) = 26,6 % vom Jahresniederschlag.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Faktor der relativen Anreicherung	Konzentration im oberflächennahen Grundwasser L4 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	2,90	10,35	3,6	3,46
Cl <sup>-</sup>	8,40	30,80	3,7	21,50
K <sup>+</sup>	1,80	6,59	3,7	3,19
Mg <sup>2+</sup>	1,20	4,27	3,6	3,78
Na <sup>+</sup>	6,90	25,29	3,7	15,30
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,90	19,78	3,4	7,22

Tab. 8-2: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach WENDLING & MÜLLER (1984) = 19,9 % vom Jahresniederschlag.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Faktor der relativen Anreicherung	Konzentration im oberflächennahen Grundwasser L4 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	2,90	13,60	4,7	3,46
Cl <sup>-</sup>	8,40	40,73	4,8	21,50
K <sup>+</sup>	1,80	8,72	4,8	3,19
Mg <sup>2+</sup>	1,20	5,61	4,7	3,78
Na <sup>+</sup>	6,90	33,43	4,8	15,30
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,90	25,59	4,3	7,22

Tab. 8-3: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach GROSSMANN (1997) = 40,1 % vom Jahresniederschlag.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Faktor der relativen Anreicherung	Konzentration im oberflächennahen Grundwasser L4 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	2,90	6,99	2,4	3,46
Cl <sup>-</sup>	8,40	20,67	2,5	21,50
K <sup>+</sup>	1,80	4,43	2,5	3,19
Mg <sup>2+</sup>	1,20	2,89	2,4	3,78
Na <sup>+</sup>	6,90	16,97	2,5	15,30
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,90	13,60	2,3	7,22

Geht man unter den bereits genannten Voraussetzungen davon aus, dass das oberflächennahe Grundwasser in etwa dem initialen Neubildungswasser ähnlich sein sollte, so wird deutlich,

das im Jahr 2000 eine Anreicherung der Hauptkomponenten des Niederschlags durch Evaporation um einen Faktor von rund 2,0 stattgefunden haben muss. Danach stellt GROSSMANN (1997) für das Jahr 2000 die realistischste Methode zur Berechnung der Grundwasserneubildung für die Insel Langeoog dar.

Für das Jahr 2001 wurde eine Modellierung nur für die Grundwasserneubildung nach WENDLING & MÜLLER (1984) durchgeführt, da die in MARGGRAF & NAUMANN (2003) angegebene Neubildung von Grundwasser nach GROSSMANN (1997) als weit überschätzt anzusehen ist. Als Vergleich wurden Analysen der am 31.07.2001 gewonnenen Sickerwasser- und Grundwasserprobe der Messstelle L4 (s. Kap. 5.2.3 und Anhang 4) herangezogen.

Die Ergebnisse (Tab. 8-4) zeigen, dass die Berechnung der Grundwasserneubildung nach WENDLING & MÜLLER (1984) für dieses Jahr zu durchaus plausiblen Ergebnissen führt.

Tab. 8-4: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2001 berechnet nach WENDLING & MÜLLER (1984) = 41,9 % vom Jahresniederschlag.

Element/ Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Faktor der relativen Anreicherung	Konzentration im Sicker- wasser L4 [mg/L]	Konzentration im oberflächennahen Grundwasser L4 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	2,90	6,70	2,3	2,33	3,46
Cl <sup>-</sup>	8,40	19,80	2,4	20,67	21,50
K <sup>+</sup>	1,80	4,24	2,4	2,43	3,19
Mg <sup>2+</sup>	1,20	2,77	2,3	2,93	3,78
Na <sup>+</sup>	6,90	16,26	2,4	11,53	15,30
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,90	13,05	2,2	16,10	7,22

Obwohl das Jahr 2001 mit einem Jahresniederschlag von 1007 mm/a als relativ feuchtes Jahr angesehen werden kann, scheinen die prozentuale Grundwasserneubildung und die mittlere Zusammensetzung des Neubildungswassers nur unwesentlich von denen des Jahres 2000, das als mittleres Jahr einzustufen ist, abzuweichen.

Die Ergebnisse der Modellierungen zeigen im Vergleich mit realen Analysewerten weiterhin, dass mit dem Programm PHREEQC eine verhältnismäßig gute Abbildung der chemischen Zusammensetzung des Neubildungswassers möglich ist. Abweichungen sind v.a. bezüglich der Ca<sup>2+</sup>- und SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Konzentrationen erkennbar. Diese resultieren vermutlich aus der Tatsache, dass eventuell im Boden vorhandene weitere Mineral- und Gasphasen (z.B. enthalten im organischen Material) aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt wurden. Trotzdem wird im Folgenden versucht, die Zusammensetzung des Neubildungswassers für sehr trockene Jahre mit < 200 mm/a und < 100 mm/a Jahresniederschlag bzw. einer Grundwasserneubildung von lediglich 10 % und 5 % des Jahresniederschlags zu simulieren (Tab. 8-5 und 8-6).

Es wird deutlich, dass eine niedrige Grundwasserneubildung nicht nur der Quantität der Ressource Grundwasser auf den Ostfriesischen Inseln schadet, sondern auch die Qualität des neugebildeten Grundwassers stark vermindert. Folgen mehrere solche trockene Jahre aufeinander, wird sich nicht nur das Volumen der Süßwasserlinse drastisch verringern, sondern das Süßwasser selbst wird versalzen.

Tab. 8-5: Zusammensetzung des Neubildungswassers auf Langeoog für ein trockenes Jahr, Jahresniederschlag < 200 mm/a bzw. Grundwasserneubildung 10 % vom Jahresniederschlag.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Faktor der relativen Anreicherung	Grenzwerte nach TrinkwV 1990 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	2,90	25,32	8,7	400
Cl <sup>-</sup>	8,40	77,64	9,2	250 *
K <sup>+</sup>	1,80	16,73	9,3	1 (30)
Mg <sup>2+</sup>	1,20	10,40	8,7	50 (120)
Na <sup>+</sup>	6,90	63,64	9,2	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,90	48,20	8,2	240 * (500)

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu dem in Klammern angegebenen Grenzwerten außer Betracht

\* Grenzwerte nach TrinkwV 1990 und 2001

Tab. 8-6: Zusammensetzung des Neubildungswassers auf Langeoog für ein trockenes Jahr, Jahresniederschlag < 100 mm/a bzw. Grundwasserneubildung 5 % vom Jahresniederschlag.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Faktor der relativen Anreicherung	Grenzwerte nach TrinkwV 1990 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	2,90	45,57	15,7	400
Cl <sup>-</sup>	8,40	143,18	17,0	250 *
K <sup>+</sup>	1,80	30,56	17,0	1 (30)
Mg <sup>2+</sup>	1,20	18,66	15,6	50 (120)
Na <sup>+</sup>	6,90	117,25	17,0	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,90	84,00	14,2	240 * (500)

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu dem in Klammern angegebenen Grenzwerten außer Betracht

\* Grenzwerte nach TrinkwV 1990 und 2001

Eine solche Versalzung ist ebenfalls festzustellen, wenn man von einer ausreichend hohen Grundwasserneubildung von 40,1 % des Jahresniederschlages ausgeht, jedoch aufgrund von z.B. verstärktem Seaspray die chemischen Hauptkomponenten im Niederschlag erhöht. Bereits ab einer Erhöhung des Lösungsinhaltes um einen Faktor 7 kommt es im neugebildeten Grundwasser zu Überschreitungen der Grenzwerte nach der TRINKWV 1990 bzw. 2001 (Tab. 8-7 bis 8-11). Bei einer Anhebung um den Faktor 25 liegen alle wesentlichen Hauptkomponenten mit Ausnahme des Ca<sup>2+</sup> des Neubildungswassers oberhalb der Grenzwerte der TRINKWV 1990 bzw. 2001. Bezogen auf den Chloridgehalt im modellierten Neubildungswasser bedeutet dies, dass bereits ab Chloridgehalten im Niederschlag von > 0,6 % des Chloridgehaltes von Meerwasser mit Grenzwertüberschreitungen zu rechnen ist (Abb. 8-1). Mit derartigen Konzentrationsanstiegen im Niederschlag ist wahrscheinlich nur bei Sturmfluten zu rechnen.

Tab. 8-7: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach GROSSMANN (1997) = 40,1 % vom Jahresniederschlag, Konzentrationen im Niederschlag um den Faktor 7 erhöht.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Grenzwerte nach TrinkwV 1990 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	20,30	46,33	400
Cl <sup>-</sup>	58,80	144,71	250 *
K <sup>+</sup>	12,60	<b>30,89</b>	1 (30)
Mg <sup>2+</sup>	8,40	18,95	50 (120)
Na <sup>+</sup>	48,30	118,54	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	41,30	84,42	240 * (500)

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu dem in Klammern angegebenen Grenzwerten außer Betracht

\* Grenzwerte nach TrinkwV 1990 und 2001

Tab. 8-8: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach GROSSMANN (1997) = 40,1 % vom Jahresniederschlag, Konzentrationen im Niederschlag um den Faktor 10 erhöht.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Grenzwerte nach TrinkwV 1990 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	29,00	65,22	400
Cl <sup>-</sup>	84,00	206,74	250 *
K <sup>+</sup>	18,00	<b>44,07</b>	1 (30)
Mg <sup>2+</sup>	12,00	26,62	50 (120)
Na <sup>+</sup>	69,00	<b>169,21</b>	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	59,00	115,85	240 * (500)

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu dem in Klammern angegebenen Grenzwerten außer Betracht

\* Grenzwerte nach TrinkwV 1990 und 2001

Tab. 8-9: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach GROSSMANN (1997) = 40,1 % vom Jahresniederschlag, Konzentrationen im Niederschlag um den Faktor 15 erhöht.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Grenzwerte nach TrinkwV 1990 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	43,50	96,18	400
Cl <sup>-</sup>	126,00	<b>310,02</b>	250 *
K <sup>+</sup>	27,00	<b>66,00</b>	1 (30)
Mg <sup>2+</sup>	18,00	39,11	50 (120)
Na <sup>+</sup>	103,50	<b>253,58</b>	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	88,50	165,03	240 * (500)

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu dem in Klammern angegebenen Grenzwerten außer Betracht

\* Grenzwerte nach TrinkwV 1990 und 2001

Tab. 8-10: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach GROSSMANN (1997) = 40,1 % vom Jahresniederschlag, Konzentrationen im Niederschlag um den Faktor 20 erhöht.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Grenzwerte nach TrinkwV 1990 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	58,00	126,63	400
Cl <sup>-</sup>	168,00	<b>413,70</b>	250 *
K <sup>+</sup>	36,00	<b>87,90</b>	1 (30)
Mg <sup>2+</sup>	24,00	<b>51,39</b>	50 (120)
Na <sup>+</sup>	138,00	<b>337,72</b>	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	118,00	211,52	240 * (500)

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu dem in Klammern angegebenen Grenzwerten außer Betracht

\* Grenzwerte nach TrinkwV 1990 und 2001

Tab. 8-11: Grundwasserneubildung auf Langeoog für das Jahr 2000 berechnet nach GROSSMANN (1997) = 40,1 % vom Jahresniederschlag, Konzentrationen im Niederschlag um den Faktor 25 erhöht.

Element/Parameter	Konzentration im Niederschlag [mg/L]	Konzentration im modellierten Neubildungswasser [mg/kg H <sub>2</sub> O]	Grenzwerte nach TrinkwV 1990 [mg/L]
Ca <sup>2+</sup>	72,50	156,80	400
Cl <sup>-</sup>	210,00	<b>517,22</b>	250 *
K <sup>+</sup>	<b>45,00</b>	<b>109,79</b>	1 (30)
Mg <sup>2+</sup>	30,00	<b>63,50</b>	50 (120)
Na <sup>+</sup>	<b>172,50</b>	<b>421,87</b>	150
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	147,50	<b>256,00</b>	240 * (500)

Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu dem in Klammern angegebenen Grenzwerten außer Betracht

\* Grenzwerte nach TrinkwV 1990 und 2001

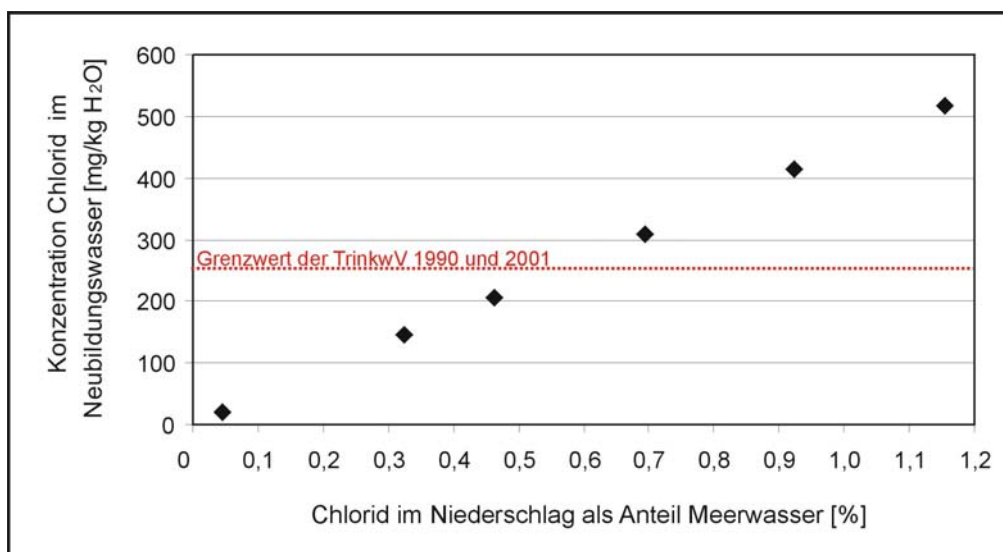


Abb. 8-1: Chloridgehalt im modellierten Neubildungswasser in Abhängigkeit vom Chloridgehalt im Niederschlag (angegeben als prozentualer Anteil des Chloridgehaltes von Meerwasser).

## 9 Fazit

Die komplexen exogenen und endogenen Einflüsse auf die isolierten Systemen der Düneninseln in Bezug auf die Hydrochemie des Grundwassers sowie die funktionalen Zusammenhänge zeigt skizzenhaft Abb. 9-1. Im Folgenden sollen die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit kurz zusammengefasst werden.

Die Grundwasserleiter der Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney sind sehr ähnlich aufgebaut und bestehen weitestgehend aus marinen Watt- und glazifluviatilen Schmelzwassersanden. Diese Sande sind, ebenso wie die aus Dünen sanden aufgebauten Grundwasserdeckschichten, gut bis sehr gut wasserdurchlässig. Oberflächenwässer und Niederschläge können leicht und schnell versickern. Die Süßwasserlinsen sind hauptsächlich durch relativ junge Grundwässer mit nachweisbaren Tritiumgehalten gekennzeichnet. Chemische Analysen von Sickerwässern und oberflächennahem Grundwasser an Dauerbeobachtungsflächen im Vergleich zu Niederschlagsanalysen bestätigen, dass das Niederschlagswasser quasi ungefiltert dem Grundwasser zuströmt. Lediglich die Evaporation führt zu einer relativen Anreicherung der Hauptinhaltsstoffe. Die Grundwasserqualität der Inseln Langeoog und Norderney hängt also im Wesentlichen von der Quantität und Qualität der Niederschläge ab.

Generell weisen die Grundwässer der Inseln eine marine Beeinflussung auf. Alkalische und erdalkalische Grundwässer mit erhöhten Alkaligehalt dominieren. Nahe der Grundwasseroberfläche zeigt sich eine deutliche Beeinflussung durch marine Aerosole, in größeren Tiefen durch das die Süßwasserlinsen unterlagernde Salzwasser. Die bedeutendsten Hauptinhaltsstoffe der untersuchten Grundwässer stellen Chlorid, Natrium, Hydrogenkarbonat und Sulfat dar. Calcium, Kalium und Magnesium spielen meist eine untergeordnete Rolle. Stickstoffverbindungen treten v.a. anthropogen/zoogen beeinflusst hervor.

Die weitgehend entkalkten Grundwasserdeckschichten verfügen nur über eine geringe Pufferwirkung. Hinzu kommt, dass die Bodenbildung auf den Inseln geringmächtig ist. Eingebrachte Verschmutzungen könnten schnell und nahezu ungehindert in das Grundwasser gelangen und dort aufgrund der gut durchlässigen Grundwasserleiter transportiert werden. Besondere Sorgfalt und ein hohes Verantwortungsgefühl gegenüber der Ressource sind geboten. Aber auch geogene Faktoren können zu einer Belastung des Grundwassers führen. Aus dem Boden bzw. Sediment gelöste Substanzen, wie insbesondere Huminstoffe sowie geringe Metallgehalte, stellen im oberflächennahen Grundwasserleiter bei leicht sauren Milieuverhältnissen die wesentlichen geogenen Einflussfaktoren auf die Grundwasserqualität dar. Mit zunehmender Tiefe steigt der Karbonatgehalt der Grundwasserleiter, es überwiegen neutrale bis leicht alkalische Milieuverhältnisse. Die zur Trinkwasserversorgung genutzten Grundwässer aus diesen Tiefen sind qualitativ sehr hochwertig. Eine Aufbereitung der geförderten Wässer ist mit Ausnahme einer kombinierten Belüftung und Entsäuerung nicht notwendig.

In Küstennähe kommt es häufig zu einer natürlichen Halogenierung von Huminstoffen und somit zur Bildung von AOX. Dieser Effekt ist besonders in anmoorigen, oberflächennahen Grundwässern zu beobachten. Aufgrund der standortspezifischen Gegebenheiten kann angenommen werden, dass natürlich gebildete Organohalogene den Großteil der AOX-Konzentrationen im Sediment und Grundwasser bestimmen. Dieser geogene Background an AOX erschwert es, anthropogene Einflüsse zu identifizieren. Hierfür wären spezielle Einzelstoff-Analysen notwendig. Es ist jedoch möglich, über ein länger andauerndes, kontinuierliches Monitoring den AOX-Background mit eventuellen jahreszeitlichen Schwankungen zu

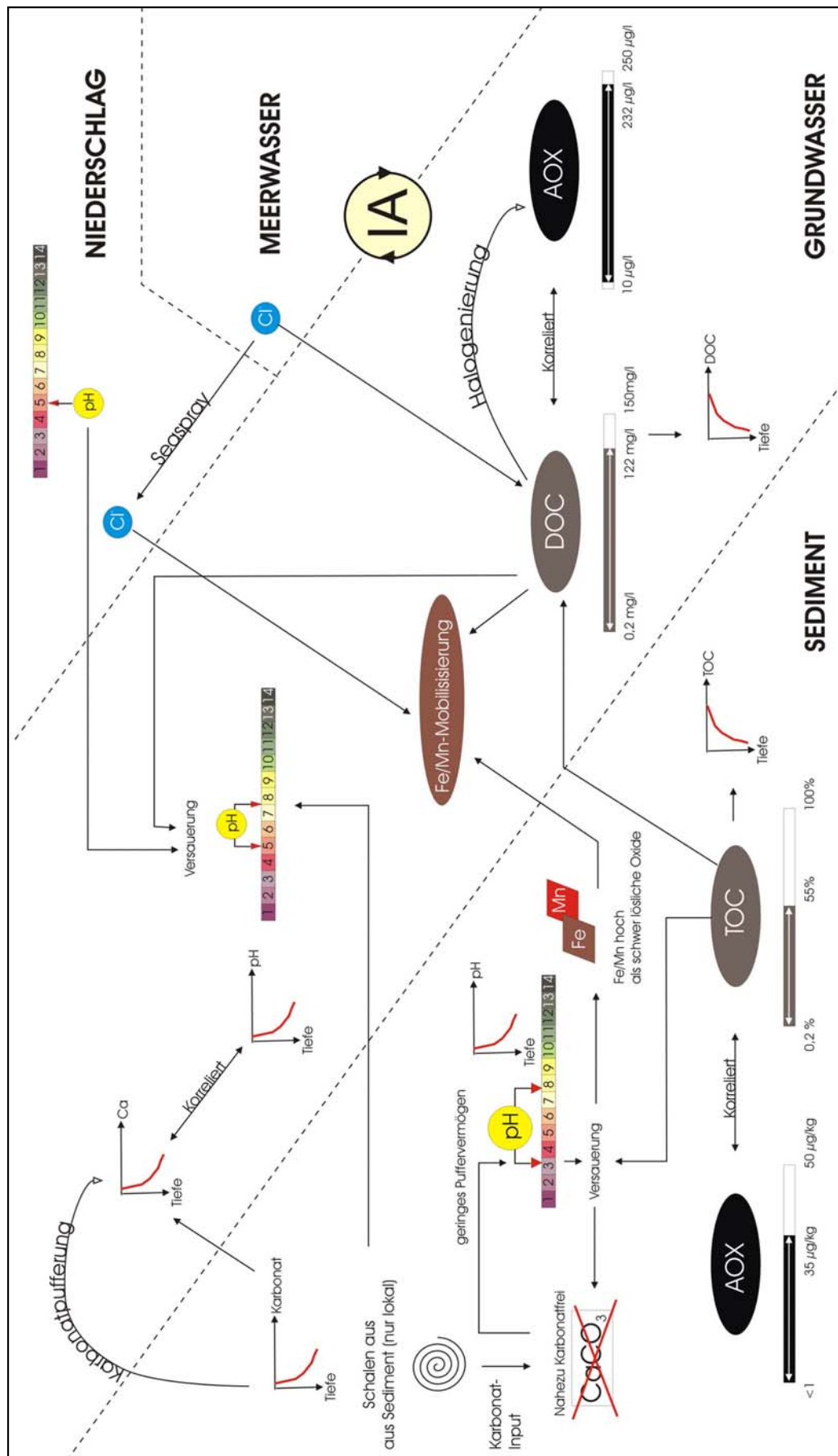


Abb. 9-1: Exogene und Endogene Einflussfaktoren und deren Wechselwirkungen in Bezug auf die Hydrochemie der Grundwässer von Düneninseln (IA....Ionenaustauschprozesse).

erfassen und diesen bei zukünftigen Untersuchungen der Güte des Grundwassers zu berücksichtigen.

Die untersuchten Grundwasserleiter bestehen weitgehend aus Quarzsanden. Ionenaustauschprozesse an eingeschalteten Torfen oder Tonlagen sind möglich, jedoch wird angenommen, dass die chemische Zusammensetzung der Grundwässer weniger von Ionenaustausch am Sediment als von Reaktionsprozessen zwischen Süß- und Salzwasser (Aussüßung) geprägt ist. Hierfür sprechen geochemische Modellrechnungen, die trotz Vernachlässigung von Ionenaustauschprozessen das Grundwasser der Untersuchungsgebiete recht gut abbilden. Zur Beweissicherung ist es jedoch unumgänglich, den mineralogischen und ggf. chemischen Aufbau des Grundwasserleiters und seiner Deckschichten intensiver und flächendeckender zu analysieren. Eine engmaschige, tiefenabhängige Grundwasserprobenahme von der Grundwasseroberfläche bis hin zur Brackwasserschicht bei genauer Kenntnis des lokalen Grundwasserleiters könnte zudem wertvolle Hinweise liefern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorgestellten Untersuchungsergebnisse darauf hindeuten, dass auf den Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney die geogenen Einflussfaktoren gegenüber anthropogen verursachten Beeinflussungen eindeutig dominieren. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Mittel und der damit verbundenen begrenzten Anzahl an Untersuchungsergebnissen ist eine allgemeingültige und belastbare Aussage jedoch noch nicht möglich. Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen präsentieren lokal und zeitlich begrenzte Einblicke. Für weiterführende Aussagen wäre es empfehlenswert, dass aufgebaute Monitoringsystem zu erweitern, d.h. flächendeckende Beprobungen sowie Analysen von Sediment und Grundwasser durchzuführen. Hierbei sollte der Abstand zwischen den Grundwasserprobenahmen maximal einen Monat betragen, um saisonale Schwankungen besser zu erfassen. Zusätzlich sollten auch ionenselektive Sonden permanent in das Messstellennetz integriert werden.



## 10 Literaturverzeichnis

- ABWAG (1987): Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer.- Abwasserabgabengesetz, BGBl. I, Fassung vom 5. März 1987.
- ABFKLÄRV (1992): Klärschlammverordnung.- BGBl. I, Fassung vom 15. April 1992.
- ALEKIN, O.A. (1962): Grundlagen der Wasserchemie.- 260 S.; Leipzig (VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie).
- ARMBRÜSTER, N. & JANIESCH, P. (2003): Pflanzenökologie und Boden.- In: PETERSEN, J., POTT, R., JANIESCH, P. & WOLFF, J. (2003): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- S. 219-284; Husum (Husum Druck- und Verlagsgesellschaft).
- ARTINGER, R., BUCKAU, G., GEYER, S., FRITZ, P., WOLF, M. & KIM, J.I. (2000): Characterisation of groundwater humic substances: influence of sedimentary organic carbon.- Applied Geochemistry 15: 97-116; Oxford (Pergamon Press).
- ASPLUND, G. (1992): On the Origin of Organohalogenes found in the Environment.- Linköping Studies in Arts and Science 77; Linköping.
- BÄKER, M. (2000): Grundwasseranreicherung durch Regeninfiltration auf den Ostfriesischen Inseln am Beispiel Norderney und Langeoog.- Diplomarbeit, 83 S.; Braunschweig [unveröff.].
- BARCKHAUSEN, J. (1969): Entstehung und Entwicklung der Insel Langeoog.- Oldenburger Jahrbuch 68: 239-281; Oldenburg.
- BARCKHAUSEN, J. (1970): Erläuterungen zu Blatt Baltrum Nr. 2210 und Blatt Ostende-Langeoog Nr. 2211.- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, 44 S. u. geol. Karte; Hannover.
- BARTSCH, A. (2001): Hydrochemische Untersuchung der Grundwasserbeschaffenheit auf den Ostfriesischen Inseln Langeoog und Norderney.- Diplomarbeit, 99 S.; Braunschweig [unveröff.].
- BENDER, F. [HRSG.] (1984): Angewandte Geowissenschaften, Teil 3: Geologie der Kohlenwasserstoffe, Hydrogeologie, Ingenieurgeologie, angewandte Geowissenschaften in Raumplanung und Umweltschutz.- Stuttgart (Enke).
- BEYER, W. (1964): Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve.- WWT 14: 165-168; Berlin.
- BLUME, H.-P. [Hrsg.](1992): Handbuch des Bodenschutzes: Bodenökologie und -belastung; vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen.- 2. Aufl., 794 S.; Landsberg/Lech (ecomed).
- BONGS, G. (1992): Halogenierung durch bakterielle Nicht-Häm-Haloperoxidasen.- Dissertation, 131 S.; Stuttgart [unveröff.].
- CLARK, I.D. & FRITZ, P. (1997): Environmental Isotopes in Hydrogeology.- 328 S.; Boca Raton-New York (Lewis Publishers).
- COOPER, H.H. (1959): A hypothesis concerning the dynamic balance of fresh water and salt water in a coastal aquifer.- J. geophys. Res. 64: 461-467; Baltimore, Md.
- DAVIS, S.N. & DE WIEST, R.J.M. (1967): Hydrogeology.- 2. Aufl., 463 S.; New York (Wiley).
- DER RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1997): Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzungen

- durch bestimmte gefährliche Stoffe – Grundwasserverordnung.- BGBl. Teil I, Nr. 18, Bonn 21. März 1997.
- DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (1999): Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch – Trinkwasser-Richtlinie.- ber. ABl. Nr. L 45 vom 19.2. 1999.
- DIJKEMA, K. & WOLFF, W. (1983): Flora and vegetation of the wadden sea islands and coastal areas.- Report 9 of the Wadden Sea Working Group, 413 S., Dissertation; Amsterdam.
- DOMINIK, J., MANGINI, A. & MÜLLER, G. (1981): Determination of recent deposition rates in Lake Constance with radioisotopic methods.- *Sedimentology* 28: 653-677; Oxford (Blackwell).
- DREVER, J. I. (1988): The geochemistry of natural waters.- Englewood Cliffs (Pentice Hall).
- DVGW REGELWERK W 251 (1996): Eignung von Wasser aus Fließgewässern als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung.- Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH).
- DVWK 128 (1992): Regeln zur Wasserwirtschaft – Entnahme und Umfang von Grundwasserproben.- 36 S.; Hamburg-Berlin (Paul Parey).
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie.- 3. stark bearb. Aufl., 536 S.; Berlin (Verlag für Bauwesen).
- ERIKSSON, E. (1965): An Account of the Major Pulse of Tritium and their Effects in the Atmosphere.- *Tellus* 17(1): 118-130; Stockholm.
- FOKUHL, I. (1999): Halogenorganische Verbindungen in Umweltkompartiment: Untersuchungen über Zusammensetzung, Herkunft und Verbleib des AOX in Umweltwasserproben.- Dissertation, 99 S.; Oldenburg (Internetveröffentlichung: [http:// docserver.bis.uni-oldenburg.de/publikationen/dissertation/fokhal99/fokhal99.html](http://docserver.bis.uni-oldenburg.de/publikationen/dissertation/fokhal99/fokhal99.html)).
- FÜHRBÖTER, J.F. & WOLFF, J. (2002): Gutachten Pumpversuch Brunnen 28 / Norderney im März und Oktober 2002.- Gutachten der Gruppe „Grundwasser und Boden“, Inst. f. Umweltgeologie, TU Braunschweig, 24 S.; Braunschweig [unveröff.]
- FÜHRBÖTER, J.F. (2004): Standortspezifische Realisierung eines nachhaltigen Grundwasser-managements auf der Insel Norderney.- Bericht für die Wirtschaftsbetriebe Norderney, Gruppe „Grundwasser und Boden“, Inst. f. Umweltgeologie, TU Braunschweig, 24 S.; Braunschweig [unveröff.]
- FURTAK, H. & LANGGUTH, H.R. (1967): Zur hydrochemischen Kennzeichnung von Grundwässern und Grundwassertypen mittels Kennzahlen.- Mem. IAH-Congress 1965, VII: 86-96; Hannover.
- GERHARDY, H, HOFFMANN, B., MEYER, H.-H. & WICHMANN, K. (1976): Wasserhaushalt der Ostfriesischen Inseln - Geologische und Hydrogeologische Datenbestandsaufnahme für die Insel Norderney.- Technische Berichte Sonderforschungsbereich 79, Wasserforschung im Küstenbereich Nr. 9, 30 S., Hannover.
- GRIBBLE, G.W. (1998): Naturally Occurring Organohalogen Compounds: a comprehensive survey.- Fortschritte der Chemie organischer Naturstoffe: eine Sammlung von zusammenfassenden Berichten; Wien (Springer).
- GRIMVALL, A. [Hrsg.](1995): Naturally produced organohalogen- selected and edited proceedings of the First Conference on Naturally Produced Organohalogen 1993 in Delft.- Environment & chemistry 1; Dordrecht (Kluwer).
- GROHMANN, A. [Hrsg.](2002): Wasser: Nutzung im Kreislauf – Hygiene, Analyse und Bewertung / Karl Höll.- 8. neu bearb. Auflage, 955. S.; Berlin-New York (Walter de Gruyter).

- GROSSMANN, J. (1997): Modell zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Großraum Hamburg.- Fachl. Ber. HWW 1: 38-45; Hamburg.
- HAHN, J. (1982): Das Erscheinungsbild der Küstenversalzung im Raume Wittmund/ Ostfriesland.- Berliner geowiss. Abh. (A), Bd. 41, S. 107-166; Berlin.
- HELLMANN, H. (1999): Lehrbuch der Hydrologie, Band 2: Qualitative Hydrologie – Wasserbeschaffenheit und Stoff-Flüsse.- 468 S.; Berlin-Stuttgart (Gebrüder Bornträger).
- HEM, J.D. [Hrsg.](1992): Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.- United States Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 3. Edition, 263 S.; Washington, D.C. (U.S. Government Printing Office).
- HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.- 5. Aufl., 441 S.; Stuttgart (Enke).
- HOFFMANN, H.J., BÜHLER-NEIENS, G. & LASCHKA, D. (1988): AOX in Schlämmen und Sedimenten-Bestimmungsverfahren und Ergebnisse.- Vom Wasser 71: 125-134; Weinheim (Verlag Chemie).
- HÜTTER, L. (1994): Wasser und Wasseruntersuchungen: Methodik, Theorie und Praxis chemischer, chemisch-physikalischer, biologischer und bakteriologischer Untersuchungsverfahren.- 515 S.; Frankfurt a. M. (Salle).
- JACKSON, R.E. [Hrsg.](1980): Aquifer contamination and protection.- Studies a. reports in hydrology 30, 440 S.; Paris (UNESCO).
- KLUT, H. & OLSZEWSKI, W. (1945): Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle, seine Beurteilung und Aufbereitung.- 9. Aufl., 281 S.; Berlin u.a. (Springer).
- KÖLLE, W. (2001): Wasseranalysen – richtig beurteilt.- 357 S.; Weinheim (Wiley-VCH).
- KUSTER, H. & MEYER, K.-D. (1979): Glaziäre Rinnen im mittleren und nordöstlichen Niedersachsen.- Eiszeitalter u. Gegenwart 29: 135-156; Hannover.
- LÖHNERT, E. (1966): Die Beschaffenheit des tieferen Grundwassers und die Grenze Salzwasser/Süßwasser im Staatsgebiet von Hamburg.- Geol. Mitt. 6: 29-36; Aachen.
- MARGGRAF, G. & NAUMANN, K. (2001): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- In: WOLFF, J. & SCHÖNIGER, M. [Hrsg.] (2001): Braunschweiger Grundwasserkolloquium 2001 –Instrumentarien zur nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung.- Zbl. Geol. Paläont. Teil I, Heft ½: 77-91; Stuttgart (Schweizerbart'sche).
- MARGGRAF, G. & NAUMANN, K. (2003): Hydrogeologie und Grundwasserdynamik.- In: PETERSEN, J., POTT, R., JANIESCH, P. & WOLFF, J. (2003): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- S. 127-218; Husum (Husum Druck- und Verlagsgesellschaft).
- MATTHESS, G. & UBELL, K. (1983): Lehrbuch der Hydrogeologie. Bd.1 Allgemeine Hydrogeologie - Grundwasserhaushalt.- 438 S.; Berlin-Stuttgart (Gebrüder Bornträger).
- MATTHESS, G. (1994): Lehrbuch der Hydrogeologie. Bd.2 Die Beschaffenheit des Grundwassers.- 3. Aufl., 499 S.; Berlin-Stuttgart (Gebrüder Bornträger).
- MERKEL, B.J. & PLANER-FRIEDRICH, B. (2002): Grundwasserchemie: praxisorientierter Leitfaden zur numerischen Modellierung von Beschaffenheit, Kontamination und Sanierung aquatischer Systeme.- 219 S.; Berlin u.a. (Springer).
- MERKEL, B.J. & SPERLING, B. (1996): Hydrogeochemische Stoffsysteme Teil I.- Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Heft 110, 288 S.; Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH).

- MÜLLER, G. & SCHMITZ, W. (1985): Halogenorganische Verbindungen in aquatischen Sedimenten: anthropogen und biogen.- Chemiker-Zeitung, 109. Jahrgang, Nr. 12: 415-417; Heidelberg.
- MÜLLER, H. & WOLFF, J. (1998): Ermittlung einer schonenden Bewirtschaftung der Süßwasserlinsen auf den Ostfriesischen Inseln am Beispiel der Insel Norderney.- Endbericht des gleichnamigen Pilotprojektes, 135 S.; Braunschweig [unveröff.].
- MÜNNICH, K.O. (1963): Atombomben-Tritium als Indikator in der Hydrologie.- Phys. Blätter 19: 418-421; Mosbach.
- NATIONALPARKVERWALTUNG NIEDERSÄCHSISCHES WATTENMEER (1999): Umweltatlas Wattenmeer - Bd. 2: Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung.- 200 S.; Stuttgart (Ulmer).
- NAUMANN, K. (2004): Eine hydrogeologische Systemanalyse von Süßwasserlinsen als Grundlage für eine umweltschonende Grundwasserbewirtschaftung.- Dissertation; Braunschweig.
- NAUMANN, K. (1993): Chlorchemie der Natur.- Chemie in unserer Zeit, 27. Jahrgang, Nr. 1: 33-41; Weinheim (Wiley VCH).
- NEIDLEMAN, S.L. & GEIGERT, J. (1986): Biohalogenation: Principles, Basic Roles and Applications.- 203 S.; Chichester (Ellis Horwood Limited).
- NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM (2001): Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen - Kartenblätter 2208 und 2210.- Internetveröffentlichung: <http://www.mu.niedersachsen.de/GEOSUM/Karten/guek500/guek500.php3>.
- NKUSI, G., SCHÖLER, H.-F. & MÜLLER, G. (1994): Überblick zum Vorkommen biogener halogenorganischer Verbindungen (BHOV).- In: MATSCHULLAT, J. & MÜLLER, G. [Hrsg.] (1994): Geowissenschaften und Umwelt.- S. 150-158; Berlin u.a. (Springer).
- OTTEMÖLLER, L. & VON DEN STEINEN, A. (1996): Geophysikalische Untersuchungen zur Mächtigkeit des Süßwasservorkommens auf Langeoog.- Inst. f. Geophysik, Experimentelle Übungen für Fortgeschrittene, 75 S.; Münster [unveröff.].
- PARKHURST, D.L. (1995): User's guide to PHREEQC - A computer program for speciation, reaction-path, advective transport, and inverse geochemical calculation.- U.S. Geol. Survey Water-Resources Investigations Report 95-4227.
- PARKHURST, D.L. & APPELO, C.A.J. (1999): User's guide to PHREEQC (Version 2) - A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculation.- U.S. Geol. Survey Water Resources Investigations Report 99- 4259.
- PENNING, M. (2000): Die hydrogeologische Situation auf der Ostfriesischen Insel Langeoog unter Berücksichtigung küstentypischer Einflussfaktoren.- Diplomarbeit, 80 S.; Braunschweig [unveröff.].
- PETERSEN, J., POTT, R., JANIESCH, P. & WOLFF, J. (2003): Umweltverträgliche Grundwasserbewirtschaftung in hydrogeologisch und ökologisch sensiblen Bereichen der Nordseeküste.- 384 S.; Husum (Husum Druck- und Verlagsgesellschaft).
- QUENTIN, K.-E. (1988): Trinkwasser: Untersuchung und Beurteilung von Trink- und Schwimmbadwasser.- 385 S.; Berlin u.a. (Springer).
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung.- Mitt. Inst. f. Wasserwesen, Univ. d. Bundeswehr München 386: 295-307; München.

- RICHTER, W. & LILLICH, W. (1975): Abriss der Hydrogeologie.- 281 S.; Stuttgart (Schweizerbart'sche).
- RODDA, J.C. [Hrsg.](1976): Facets of hydrology.- 368 S.; London (Wiley).
- RÜLKE, O. (1968): Bericht über geoelektrische Untersuchungen auf Norderney. - Archiv NLFb, 9 S., 4 Anl.; Hannover [unveröff.].
- RUMP, H. H. (1998): Laborhandbuch für die Untersuchung von wasser, Abwasser und Boden.- 3. überarb. Aufl., 232 S.; Weinheim (Wiley-VCH).
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde.- 14. neu bearb. u. erw. Aufl., 494 S.; Stuttgart (Enke).
- SHELLNHUBER, H.-J. & STERR, H. (1993): Klimaänderung und Küste – Einblick ins Treibhaus.- 400 S.; Berlin u.a. (Springer).
- SCHLEYER, R. & KERNDORFF, H. (1992): Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen.- 249 S.; Weinheim (VCH).
- SCHMALZ, B. (1998): Grundwasserbeschaffenheit im Bereich Lübeck/Travemünde unter dem Aspekt der Grundwasserversalzung.- Diplomarbeit, 115 S.; Hamburg [unveröff.].
- SCHOELLER, H. (1962): Les Eaux souterraines.- 624 S. ; Paris.
- SCHÖLER, H.F. & NIEDAN, V.W. (2000): Natürliche Organohalogenverbindungen in der Umwelt.- ATV-DVWK-Schriftenreihe 18, S. 10-29.
- SCHÖLER, H.F. & HAIBER, G. (1997): Bildung und Verbleib natürlicher halogenorganischer Verbindungen in Wasser, Böden und Sedimenten.- In MATSCHULLAT, J., TOBSCHALL, H.J. & VOIGT, H.-J. [Hrsg.](1997): Geochemie und Umwelt.- S. 105-113; Berlin u.a. (Springer).
- SCHROEDER, D. & BLUM, W.E.H. (1992): Bodenkunde in Stichworten.- 175 S.; Berlin-Stuttgart (Hirt).
- SILK, P.J., LONERGAN, G.C., ARSENAULT, T.L. & BOYLE, C.D. (1997): Evidence of Natural Organochlorine Formation in Peat Bogs.- Chemosphere 35, p. 2865 – 2880.
- SINDOWSKI, K.H. (1969): Geologische Entwicklung von Ostfriesland.- 516 S.; Pewsum (Deichacht Krummhörn Selbstverlag).
- STREIF, H. (1990): Das ostfriesische Küstengebiet, Nordsee, Inseln, Watten und Marschen.- Samml. Geol. Führer 57, 376 S.; Berlin-Stuttgart (Gebrüder Bornträger).
- TEMME, M. (1995): Die Vögel der Insel Norderney.- Jordsandbuch 9, 296 S.
- TRINKWV (1990): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe.- Trinkwasserverordnung, BGBl. I, Fassung vom 5. Dezember 1990.
- TRINKWV (2001): Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für den menschlichen Gebrauch.- Trinkwasserverordnung, BGBl. I, Nr. 24 vom 28. Mai 2001.
- TROGEMANN, J. (2000): Sicherstellung der Trink- und Mineralwasserqualität unter besonderer Berücksichtigung der Neuregelung der Trinkwasserrichtlinie (RL 98/83/EG) und der Mineralwasserrichtlinie (RL 96/70/EG).- Schriften zur Rechtswissenschaft 4, 397 S.; Berlin (Wiss. Verlag Berlin).
- VOIGT, H.J. (1990): Eine Einführung in die Beschaffenheitsentwicklung des Grundwassers.- 310 S.; Berlin u.a. (Springer).
- WEDEPOHL, K.H. [Hrsg.](1978): Handbook of Geochemistry, Vol. II/2.- Berlin u.a. (Springer).
- WEINERT, M., REMY, D. & LÖHNERT, E.P. (2000): Hydrogeologische Systemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ (Kreis Steinfurt, Nordrhein-Westfalen).- In:

- POTT, R. [Hrsg.](2000): Ökosystemanalyse des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“.- 397 S.; Münster (LWL).
- WENDLING, U. & MÜLLER, J. (1984): Entwicklung eines Verfahrens zur rechnerischen Abschätzung der Verdunstung im Winter.- Z. Meteorol. 34: 82-85; Berlin.
- WOLF, M., TEICHMANN, G., MARGGRAF, G. & WOLFF, J. (2002): Huminstoffuntersuchungen an Grundwasserproben der Ostfriesischen Insel Langeoog mit AFFFF und Fluoreszenzspektrometrie.- Jahresbericht 2001, GSF-Institut für Hydrologie, S. 62-69; Neuherberg.
- WOLFF, J. (1990): Grundwasserschutz und intensive Landwirtschaft – Diskussion eines aktuellen Umweltproblems am Beispiel standortbezogener Untersuchungen.- 292 S.; Braunschweig [unveröff.].

### Normen

- DIN EN ISO 10304-1, Ausgabe: 1995-04; Wasserbeschaffenheit, Bestimmung der gelösten Anionen Fluorid, Chlorid, Nitrit, Orthophosphat, Bromid, Nitrat und Sulfat mittels Ionenchromatographie; Teil 1: Verfahren für gering belastete Wässer (ISO 10304-1:1992); Deutsche Fassung EN ISO 10304-1:1995.
- DIN EN 13137, Ausgabe: 2001-12; Charakterisierung von Abfall, Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) in Abfall, Schlämmen und Sedimenten; Deutsche Fassung EN 13137:2001.
- DIN EN 1484, Ausgabe: 1997-08; Wasseranalytik, Anleitungen zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC); Deutsche Fassung EN 1484-1997.
- DIN 18123, Ausgabe: 1996-11; Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Korngrößenverteilung.
- DIN 18129, Ausgabe: 1996-11; Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Kalkgehaltsbestimmung.
- DIN 18130, Ausgabe: 1998-05; Baugrund, Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes.
- DIN EN 26777, Ausgabe: 1993-04; Wasserbeschaffenheit, Bestimmung von Nitrit; Spektrometrisches Verfahren (ISO 6777:1984); Deutsche Fassung EN 26777:1993.
- DIN 38406-1, Ausgabe: 1983-05; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Kationen (Gruppe E); Bestimmung von Eisen.
- DIN 38406-2, Ausgabe: 1983-05; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Kationen (Gruppe E); Bestimmung von Mangan.
- DIN 38406-5, Ausgabe: 1983-10; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Kationen (Gruppe E); Bestimmung des Ammonium-Stickstoffs.
- DIN 38406-9, Ausgabe: 1989-02; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Kationen (Gruppe E); Photometrische Bestimmung von Aluminium.
- DIN 38406-22, Ausgabe: 1988-03; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Kationen (Gruppe E); Bestimmung der 33 Elemente Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn und Zr durch Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES).

- DIN 38409-14, Ausgabe: 1985-03; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Summarische Wirkungs- und Stoffgrößen (Gruppe H); Bestimmung der adsorbierbaren organischen Halogene (AOX).
- DIN 38414-5, Ausgabe: 1981-09; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des pH-Wertes in Schlämmen und Sedimenten (S 5).
- DIN 38414-18, Ausgabe: 1989-11; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung von adsorbierten, organisch gebundenen Halogenen (AOX) (S 18).
- DIN 4022, Ausgabe: 1982-05; Baugrund und Grundwasser, Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein).
- DIN 4049-3, Ausgabe: 1994-10; Hydrologie, Begriffe zur quantitativen Hydrologie.



# **Anhang 1**

## **Messstellen und Bohrprofile**

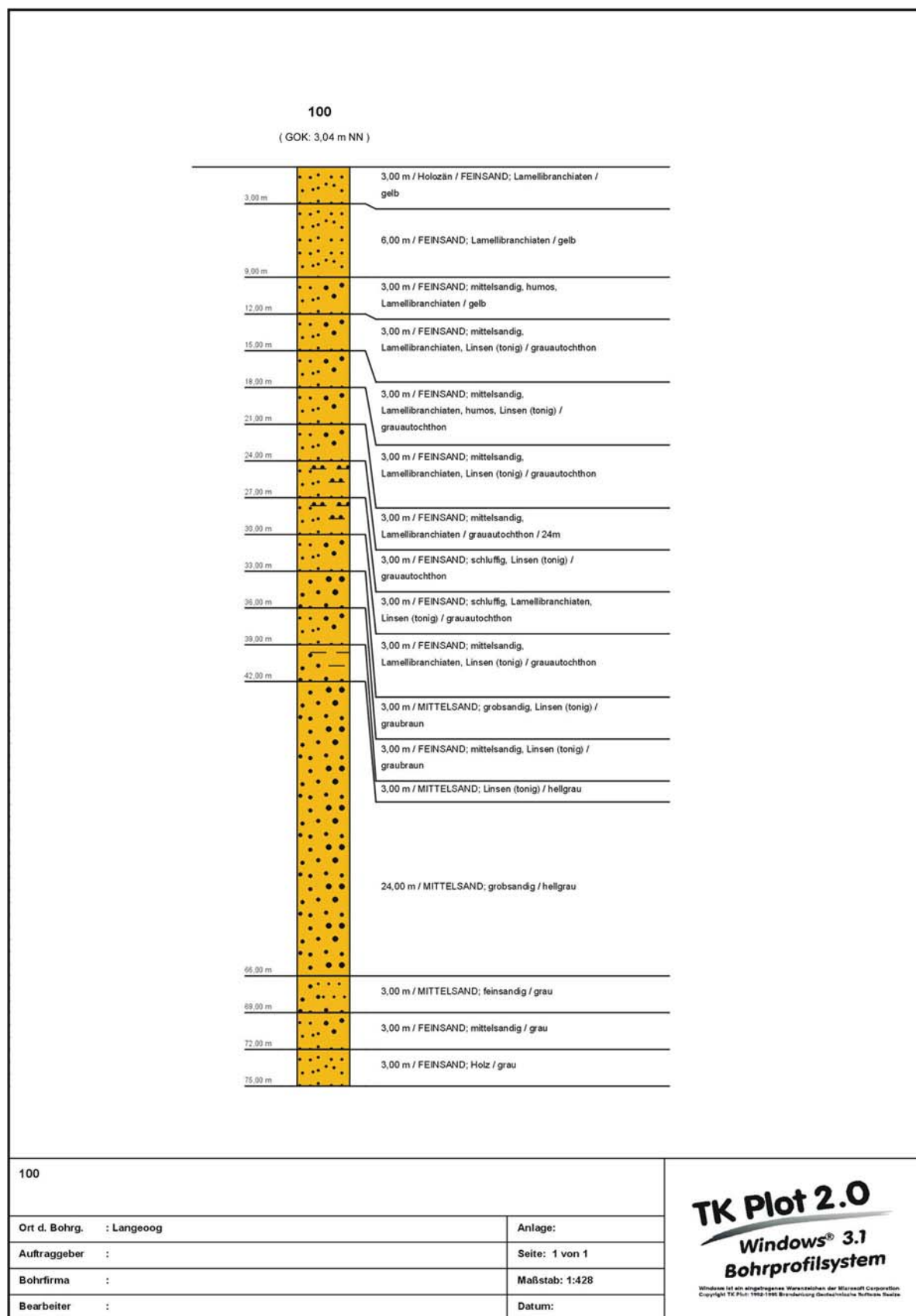


Abb. A1-1: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 100 von Langeoog, Filtertiefe 21,00 – 23,00 m u. GOK.

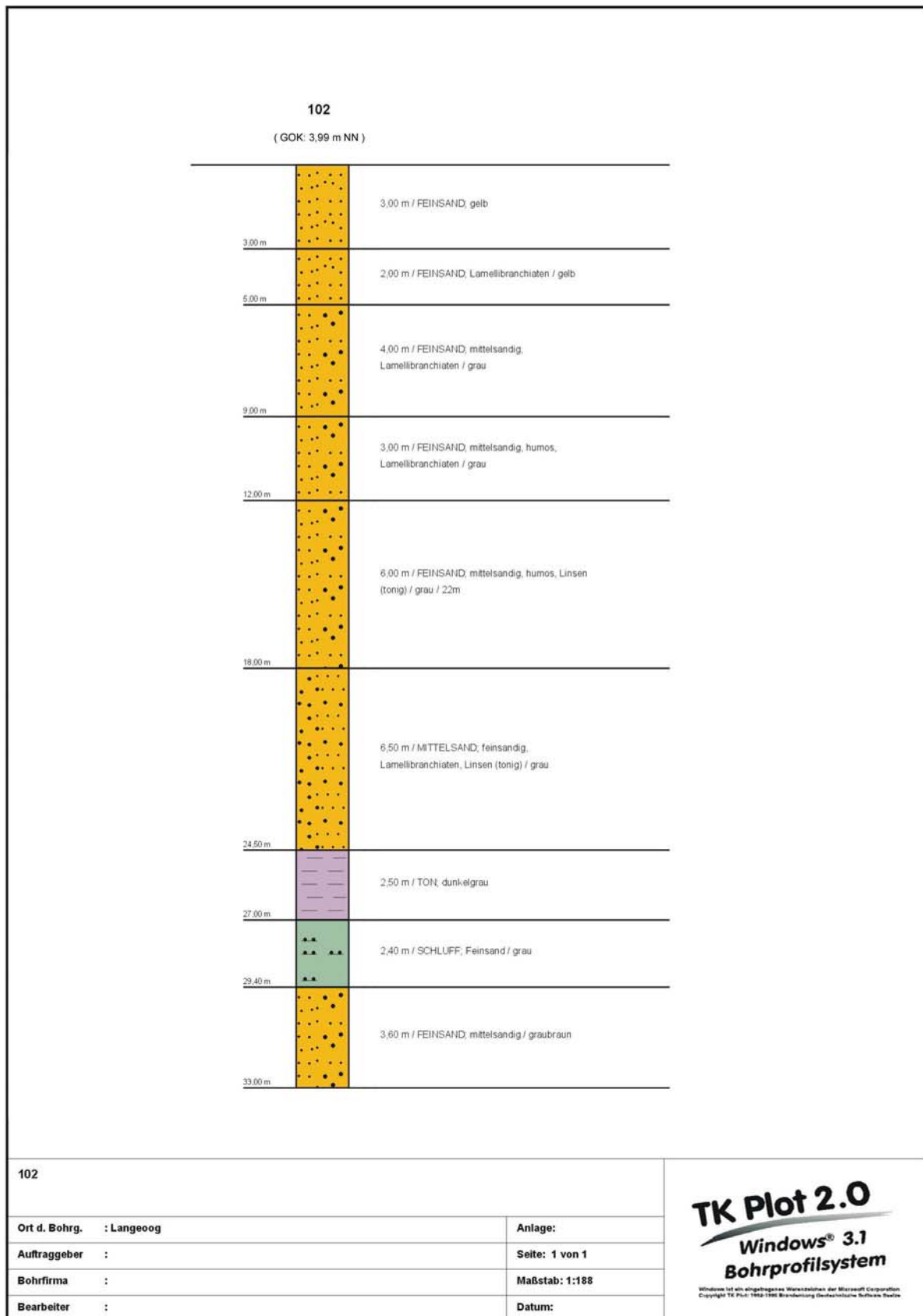


Abb. A1-2: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 102 von Langeoog, Filtertiefe 18,00 – 22,00 m u. GOK.

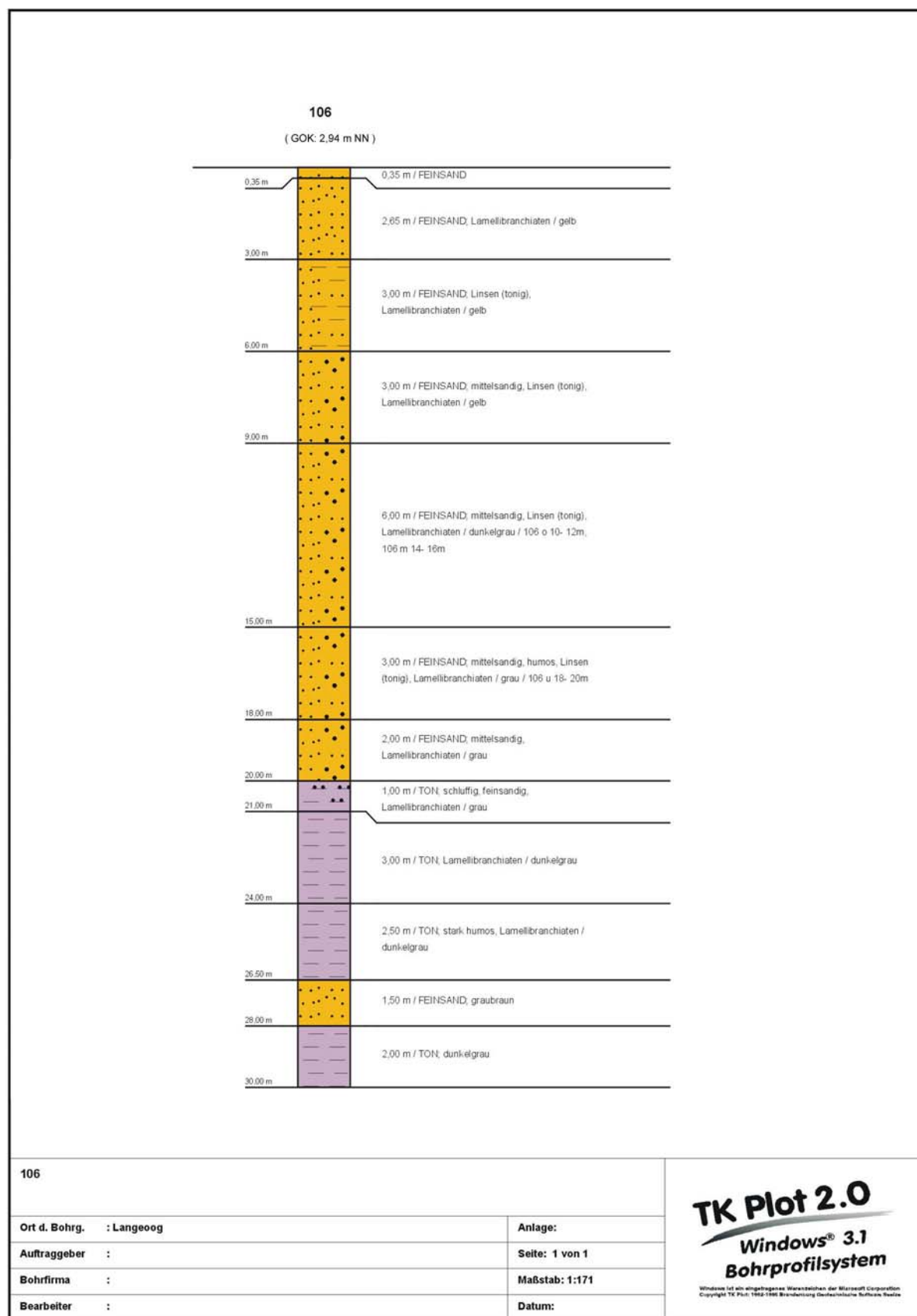


Abb. A1-3: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 106 von Langeoog, Filtertiefen 10,50 – 11,50 m u. GOK, 14,50 – 15,50 m u. GOK und 18,50 – 19,50 m u. GOK.

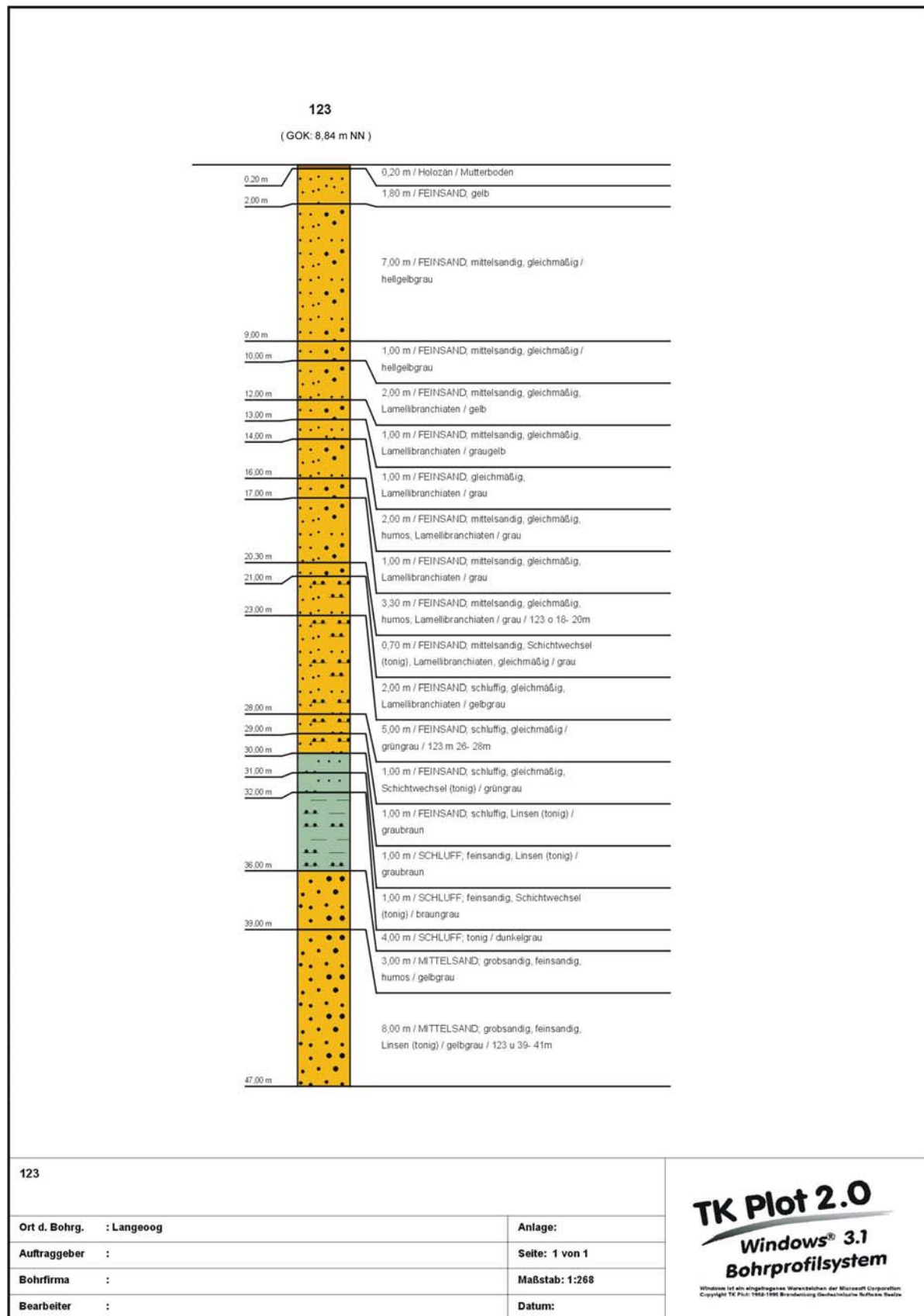


Abb. A1-4: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 123 von Langeoog, Filtertiefen 18,00 – 20,00 m u. GOK, 26,00 – 28,00 m u. GOK und 39,00 – 41,00 m u. GOK.

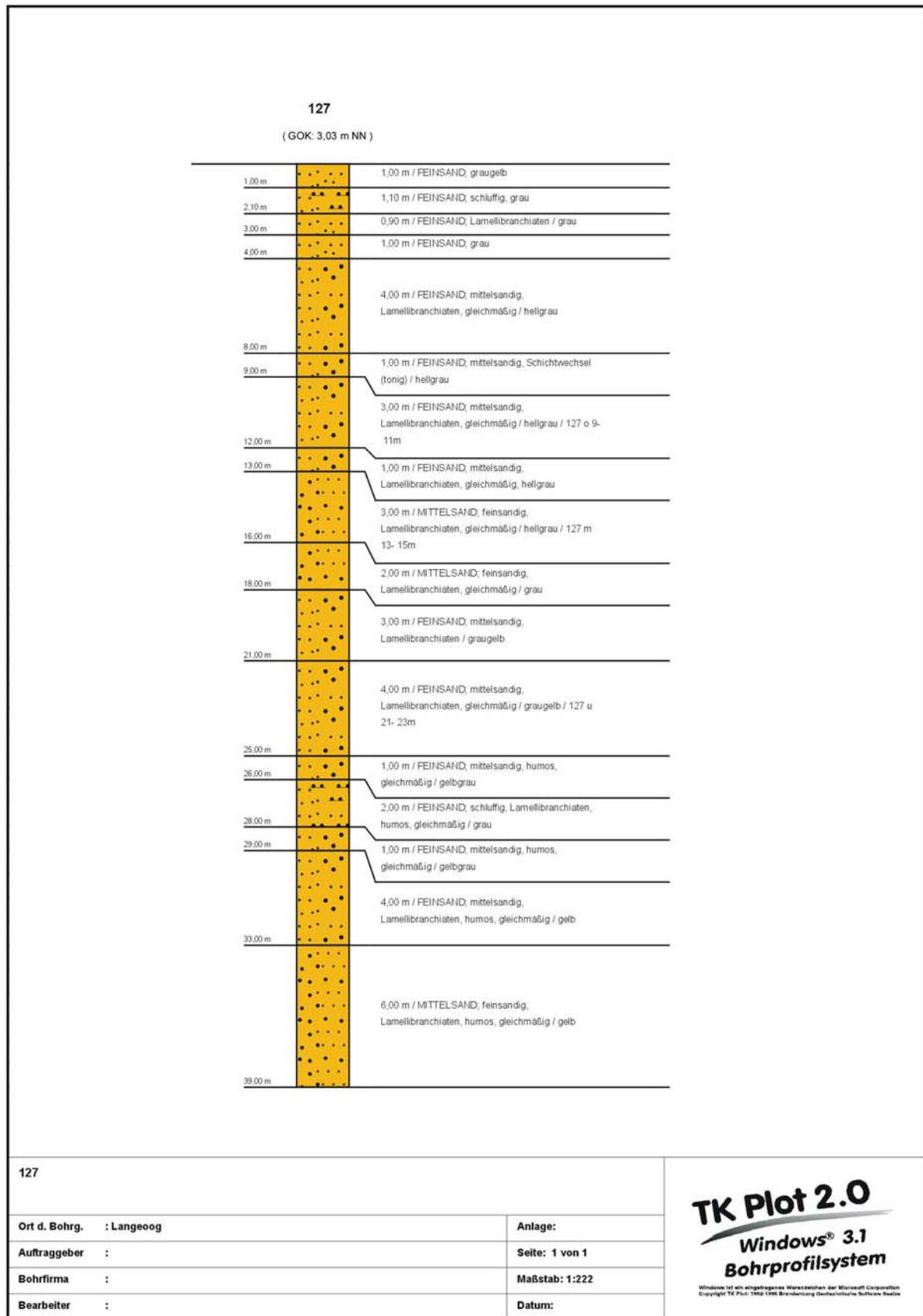


Abb. A1-5: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 127 von Langeoog, Filtertiefen 9,00 – 10,00 m u. GOK, 13,00 – 15,00 m u. GOK und 21,00 – 23,00 m u. GOK.

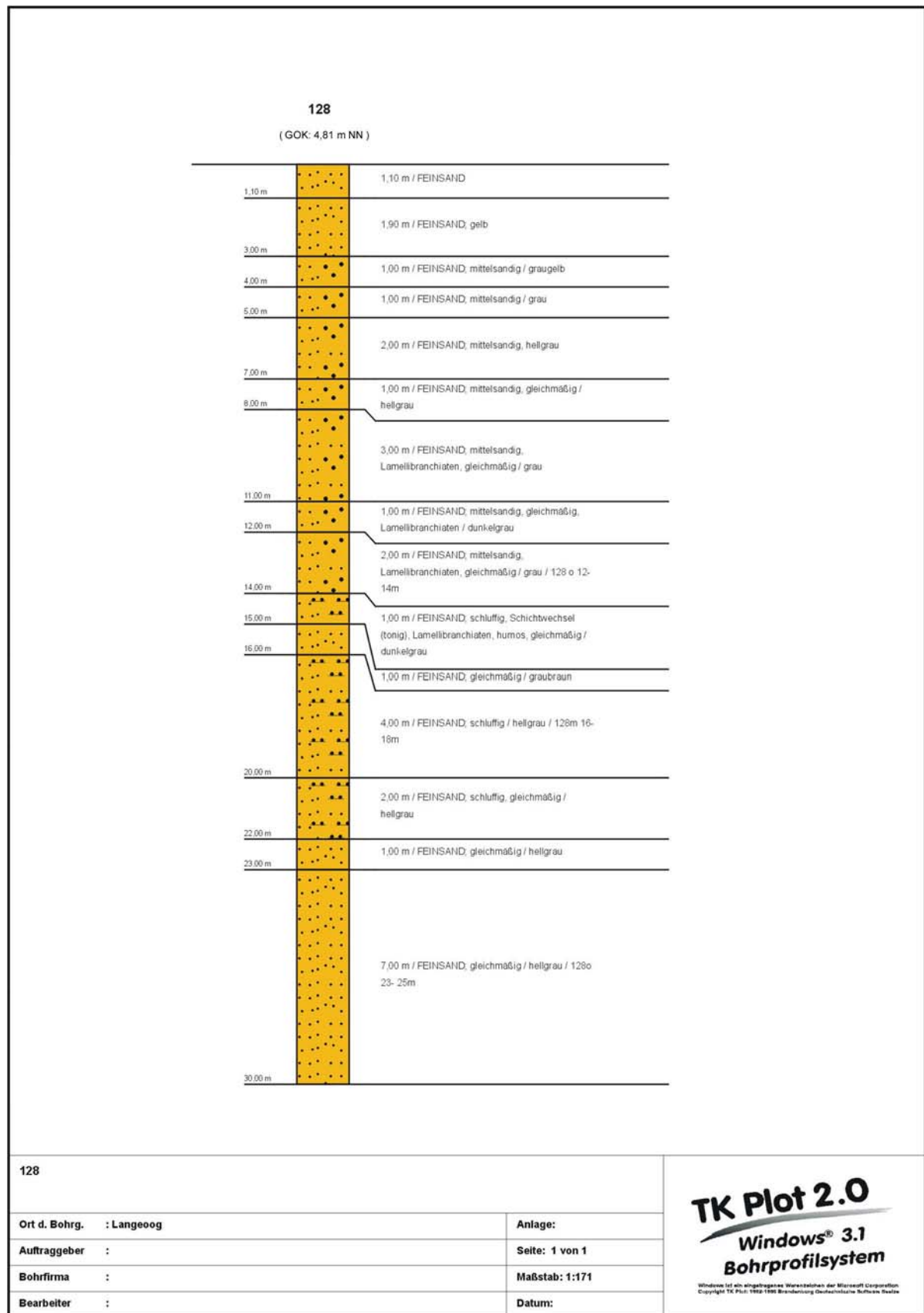


Abb. A1-6: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 128 von Langeoog, Filtertiefen 12,00 – 14,00 m u. GOK, 16,00 – 18,00 m u. GOK und 23,00 – 25,00 m u. GOK.

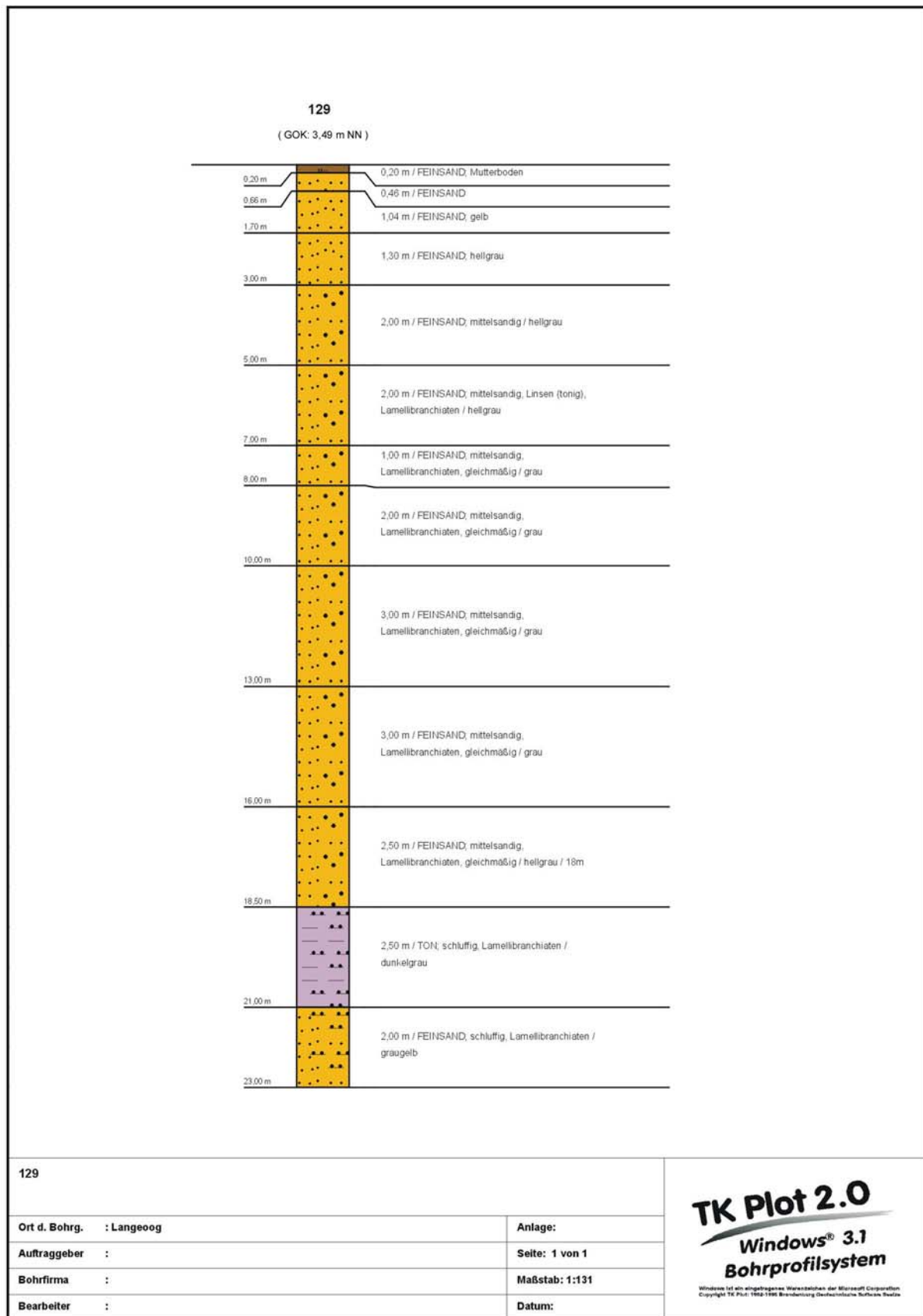


Abb. A1-7: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 129 von Langeoog, Filtertiefe 12,00 – 18,00 m u. GOK.



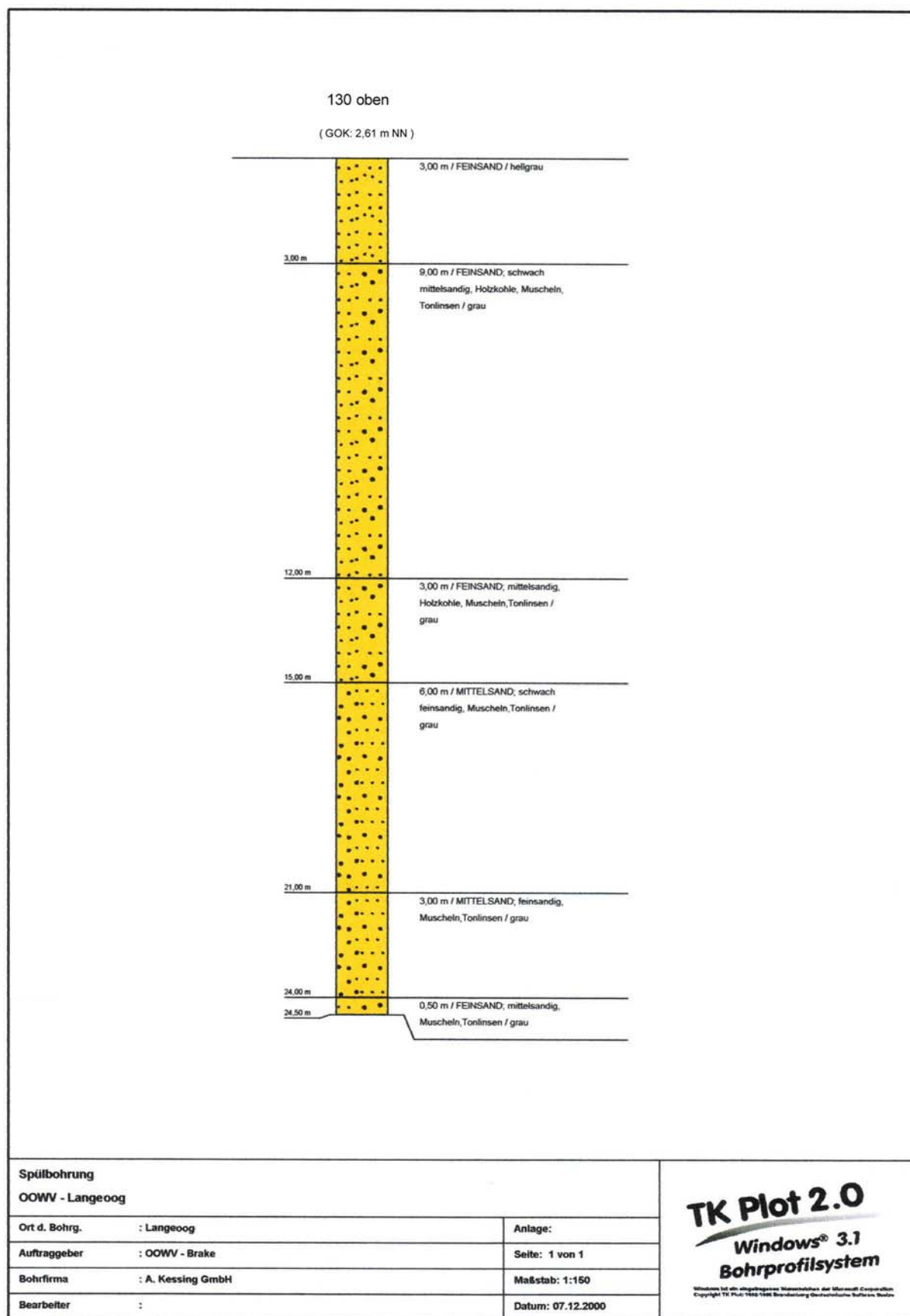


Abb. A1-8: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 130o von Langeoog, Filtertiefe 7,00 – 24,00 m u. GOK.

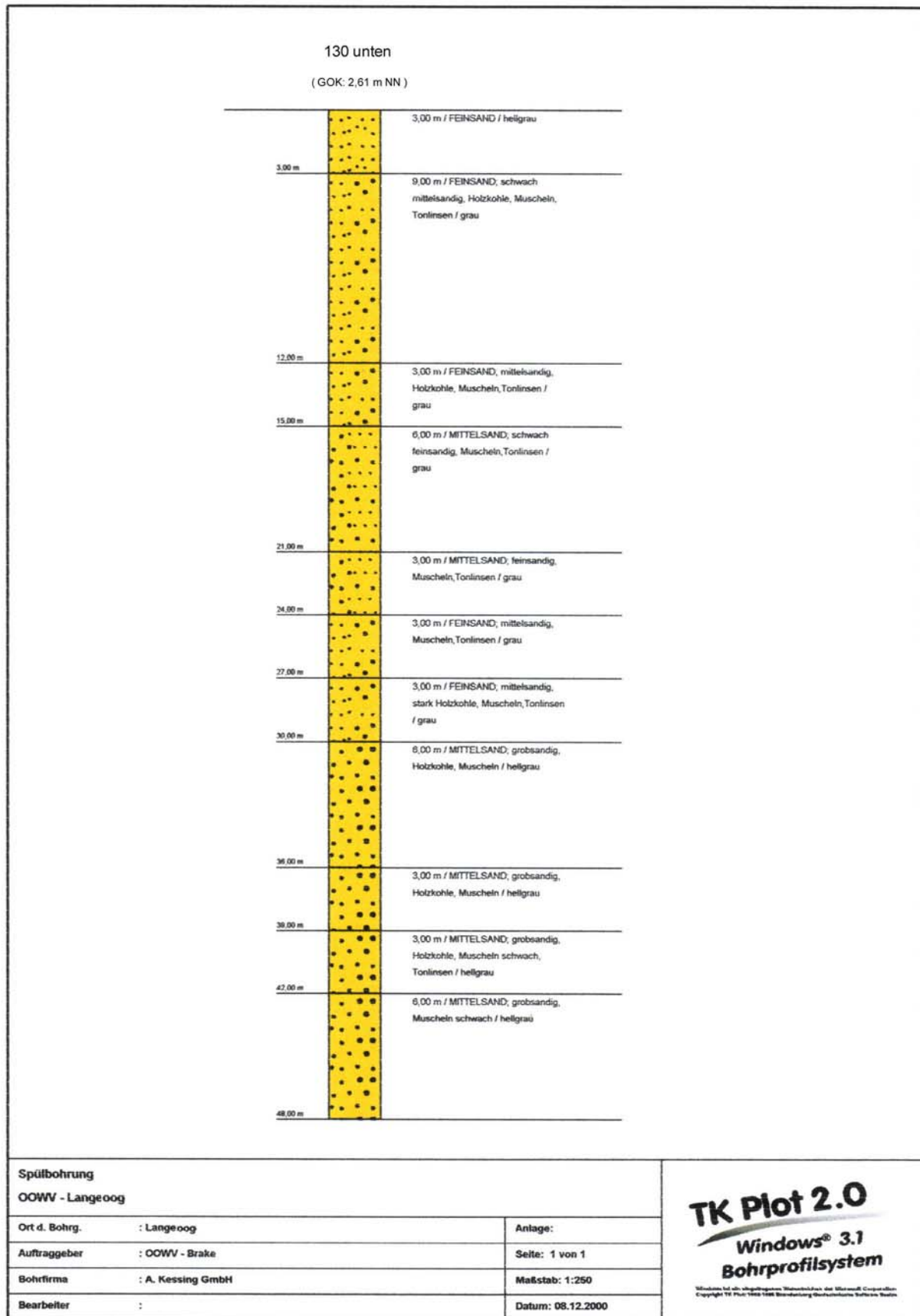


Abb. A1-9: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle 130u von Langeoog, Filtertiefe 31,50 – 45,50 m u. GOK.

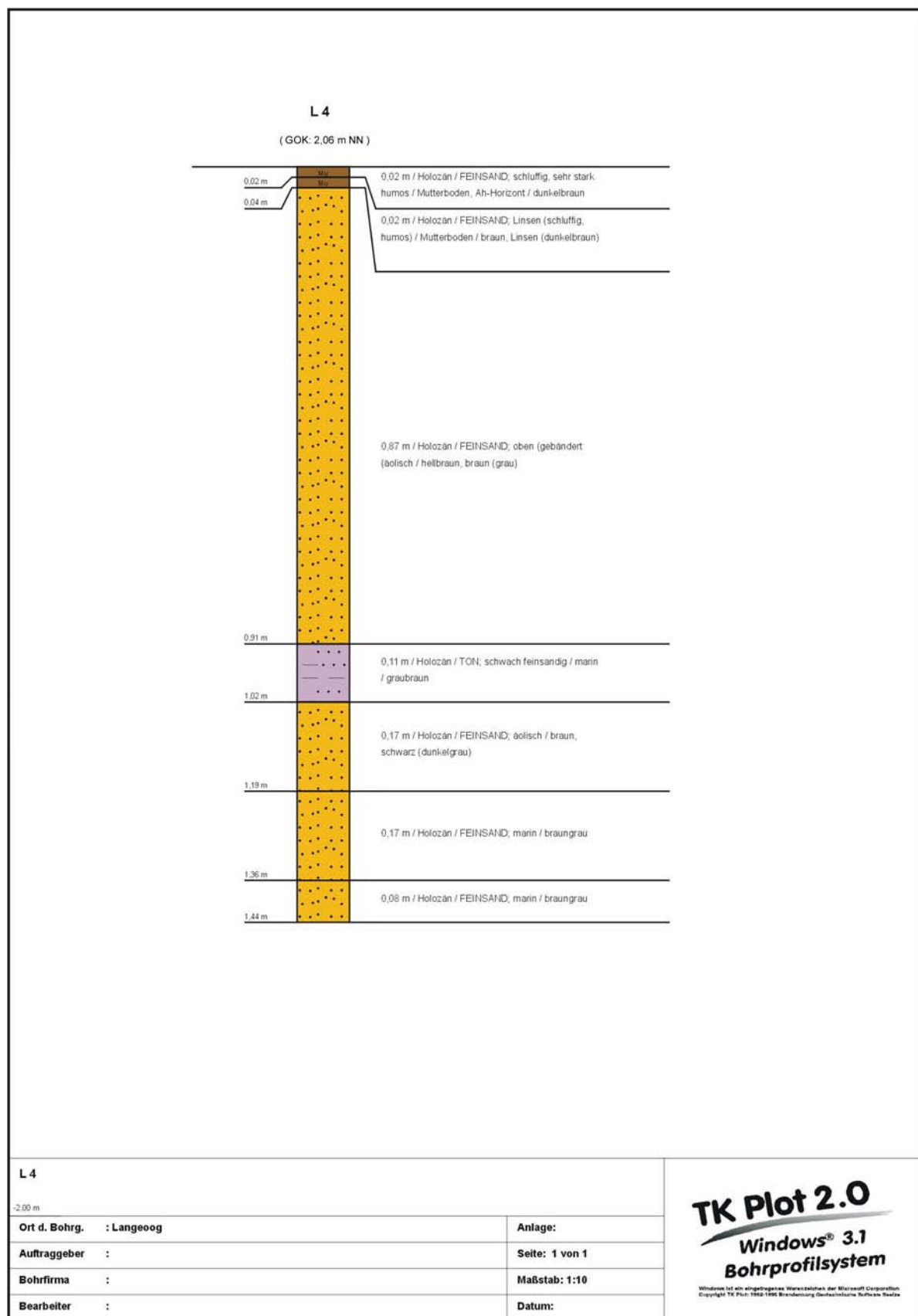


Abb. A1-10: Bohrprofil der Messstelle der DF L4 von Langeoog, Filtertiefe 0,78 – 1,78 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

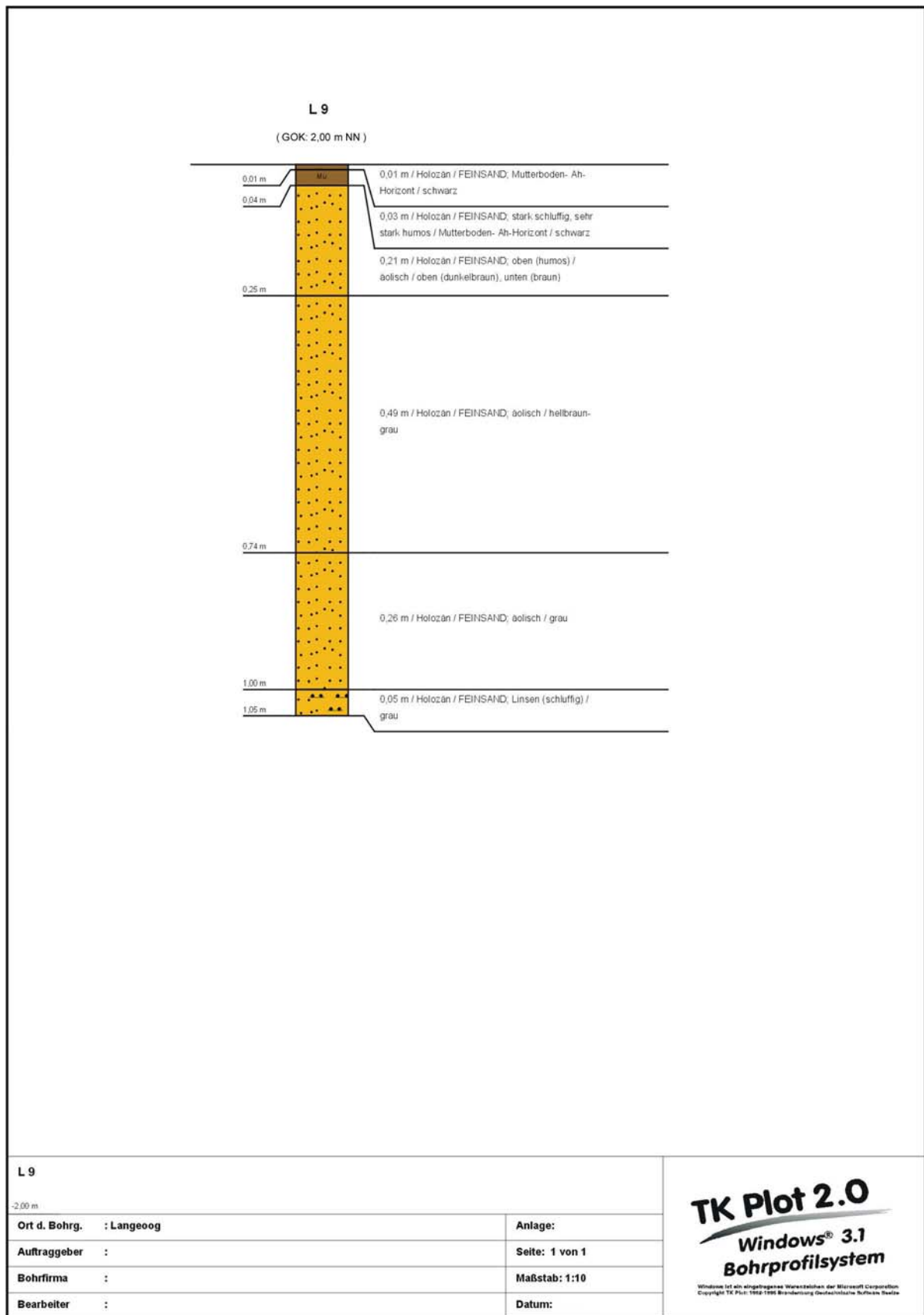


Abb. A1-11: Bohrprofil der Messstelle der DF L9 von Langeoog, Filtertiefe 0,55 – 1,55 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

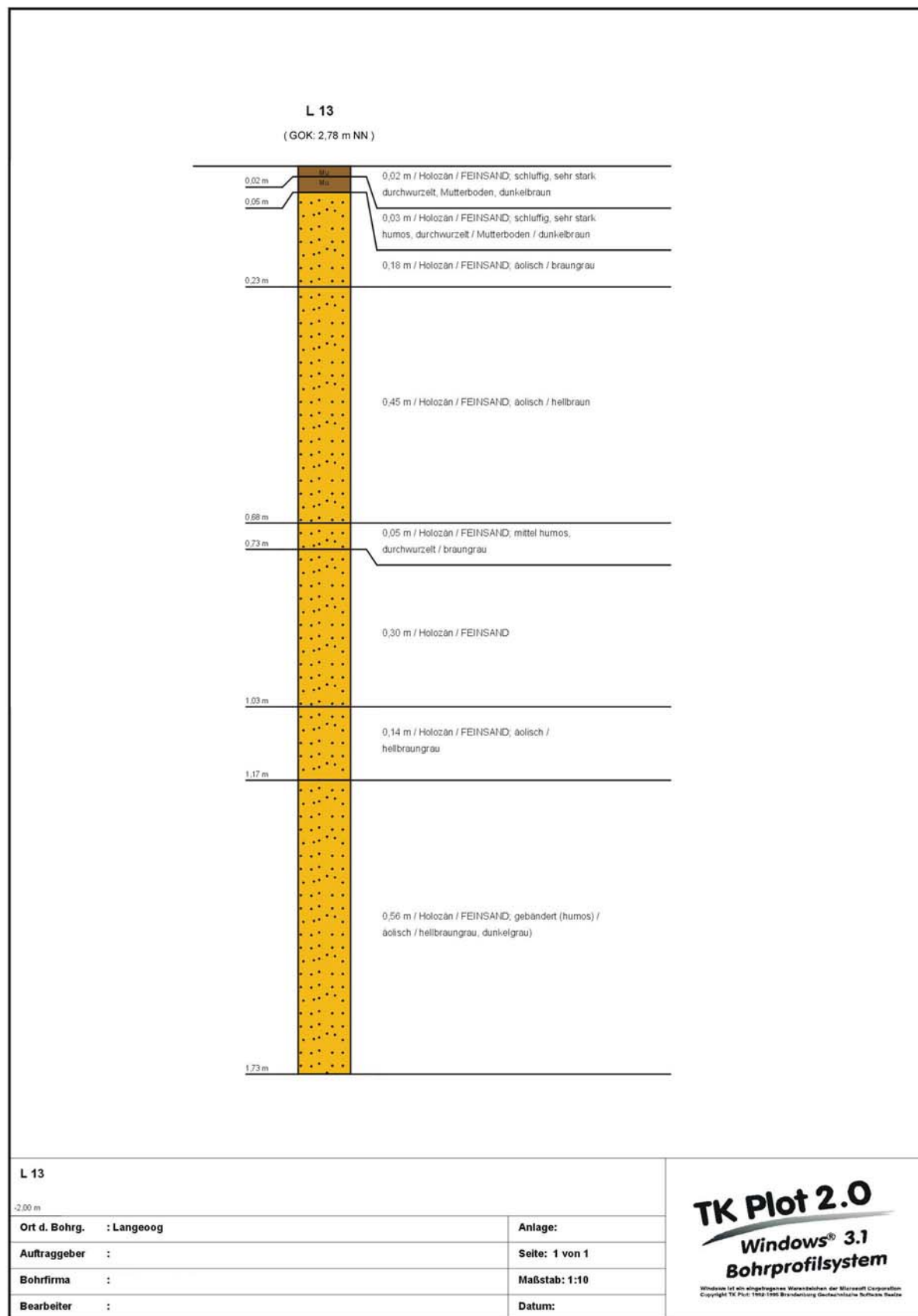


Abb. A1-12: Bohrprofil der Messstelle der DF L13 von Langeoog, Filtertiefe 0,89 – 1,89 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

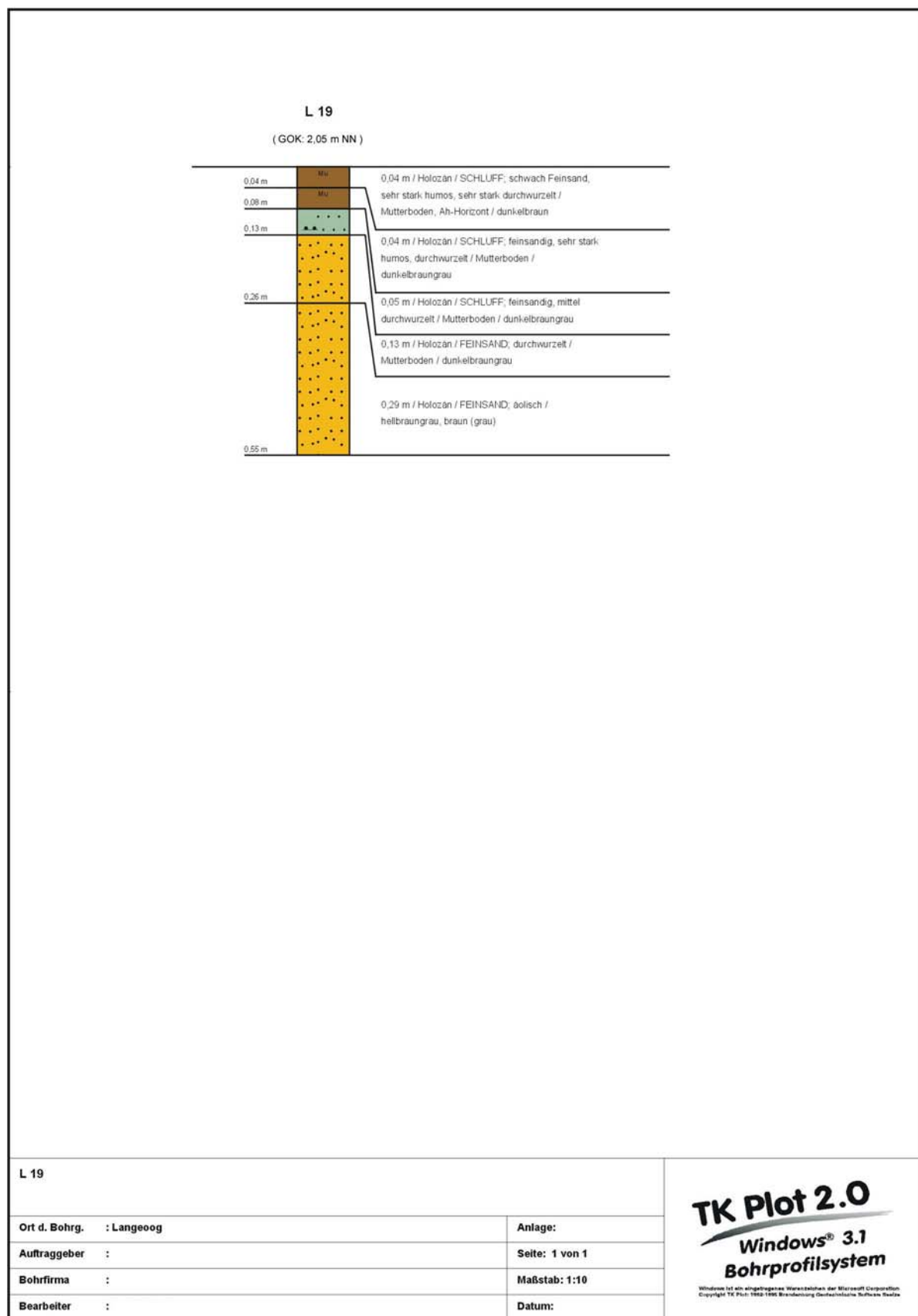


Abb. A1-13: Bohrprofil der Messstelle der DF L19 von Langeoog, Filtertiefe 0,52 – 1,52 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

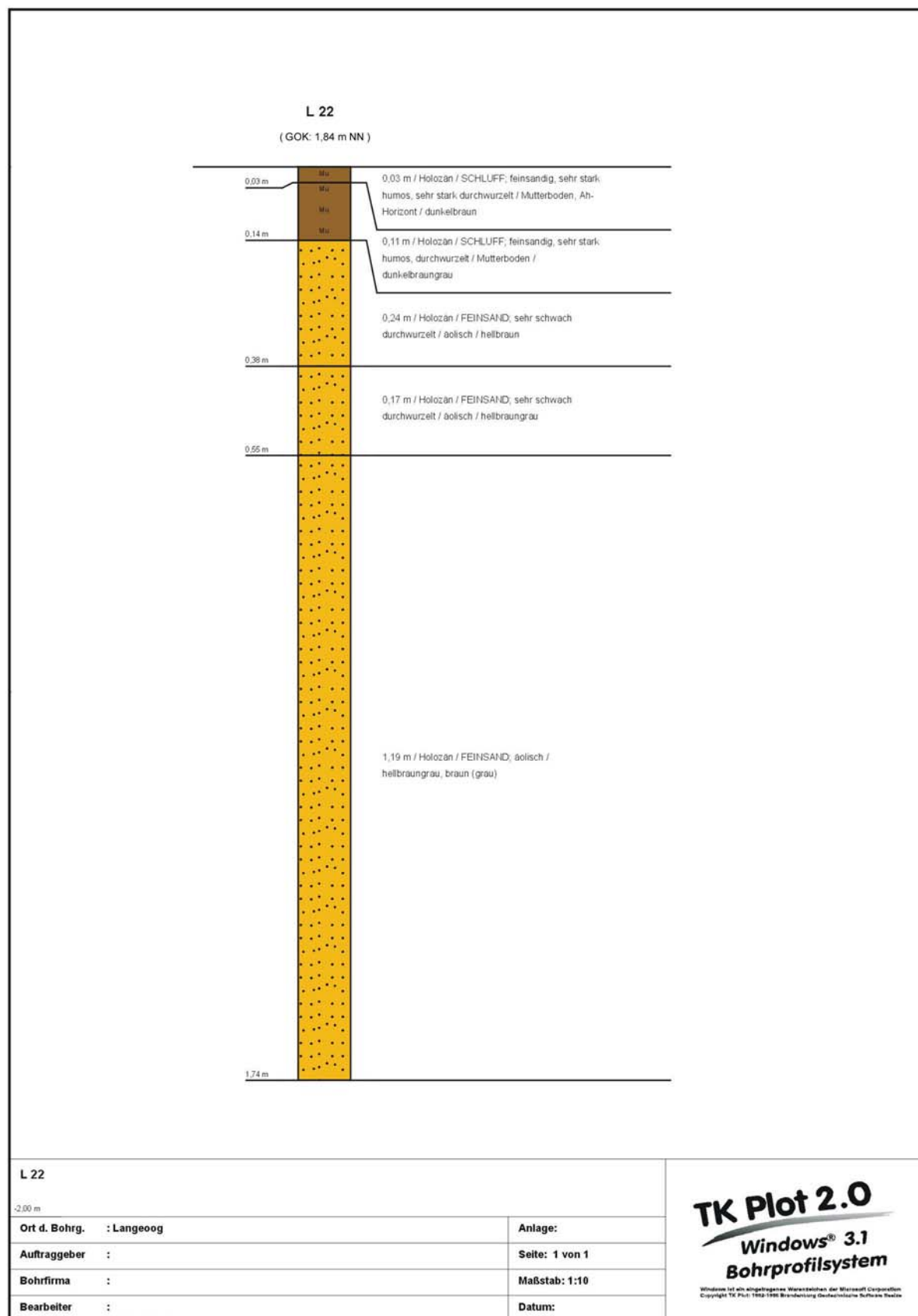


Abb. A1-14: Bohrprofil der Messstelle der DF L22 von Langeoog, Filtertiefe 0,79 – 1,79 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

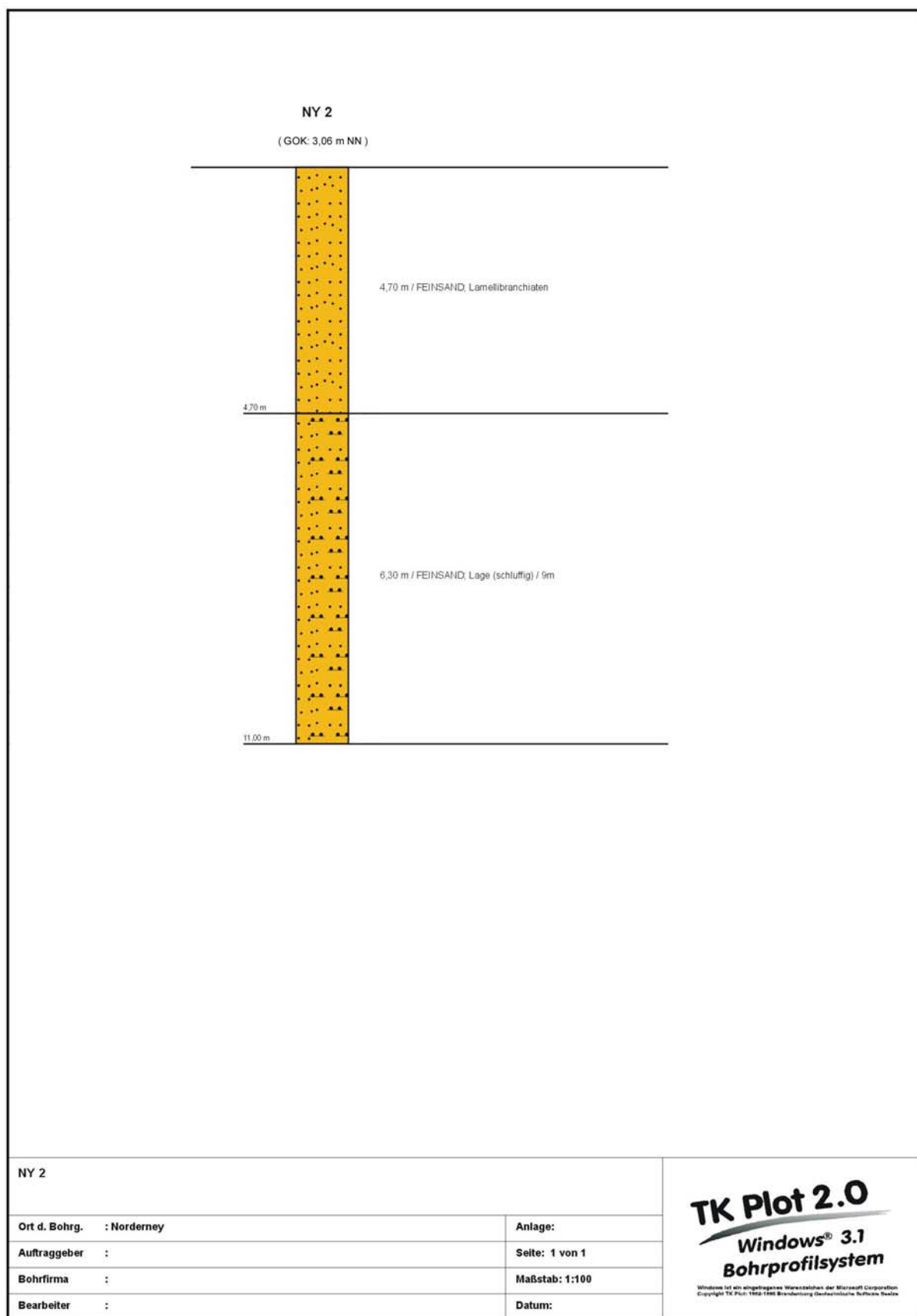


Abb. A1-15: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle NY2 von Norderney, Filtertiefe 7,00 – 9,00 m u. GOK.



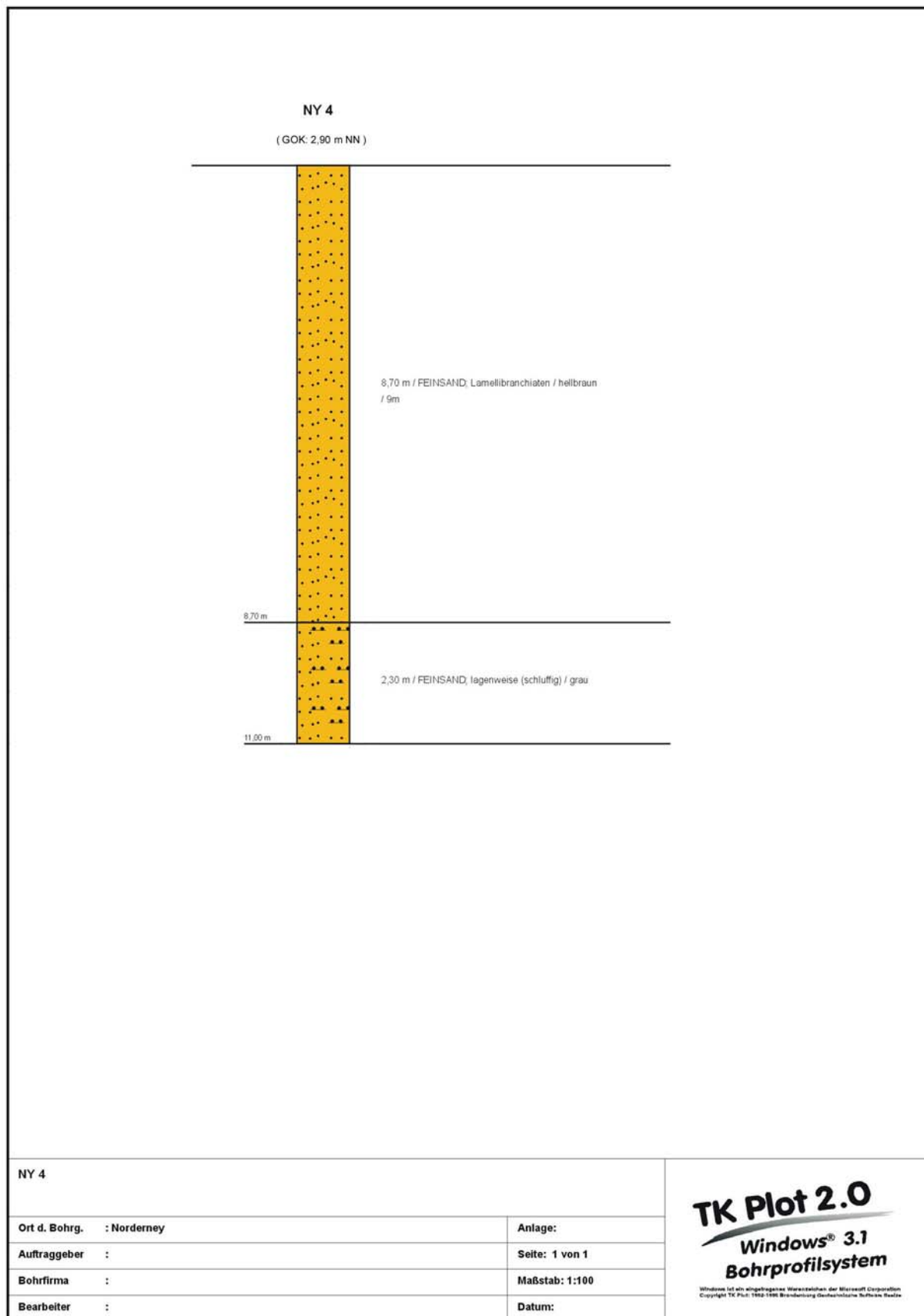


Abb. A1-16: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle NY4 von Norderney, Filtertiefen 7,00 – 9,00 m u. GOK und 65,00 – 80,00 m u. GOK.

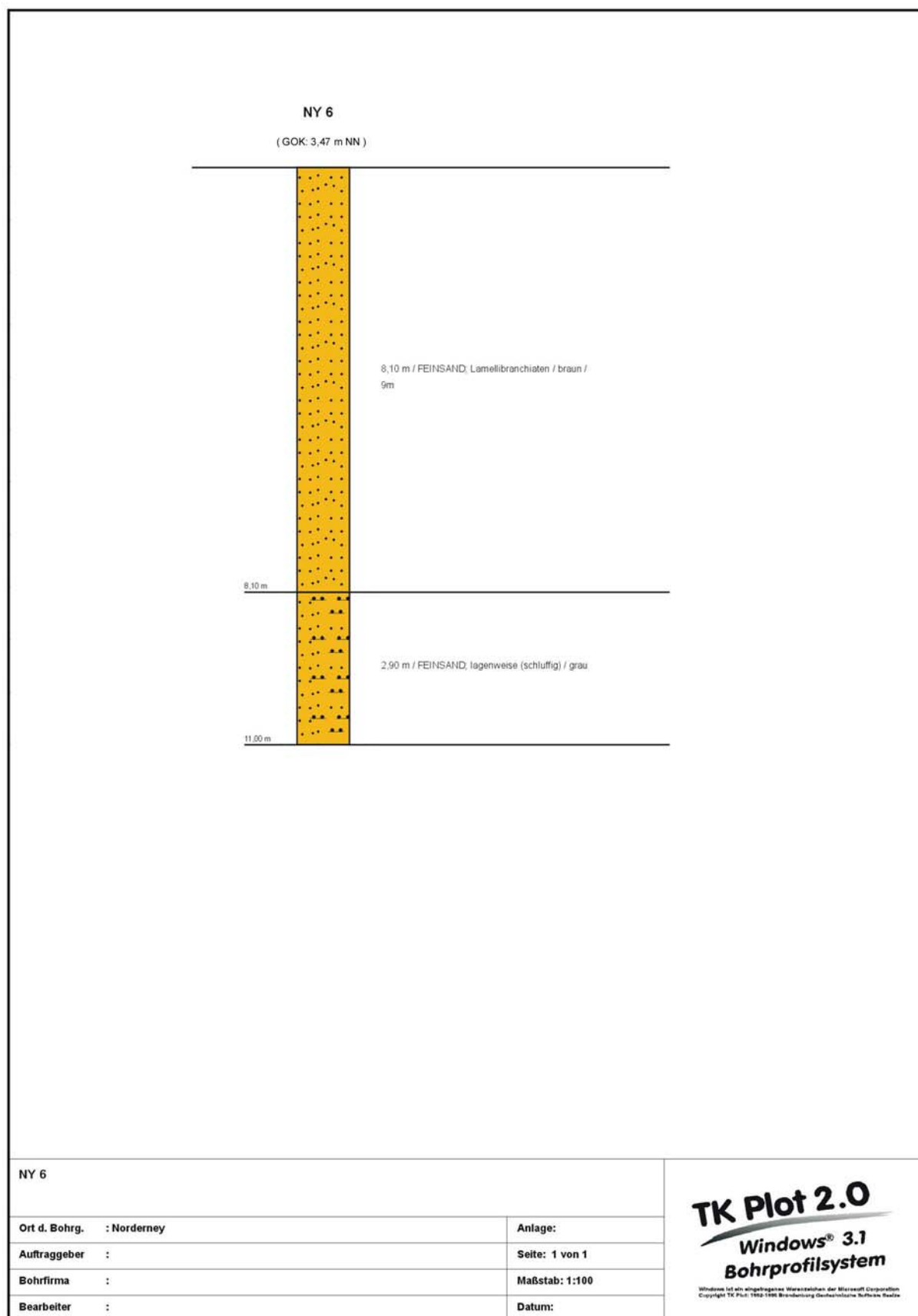


Abb. A1-17: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle NY6 von Norderney, Filtertiefen 7,00 – 9,00 m u. GOK und 46,00 – 48,00 m u. GOK.

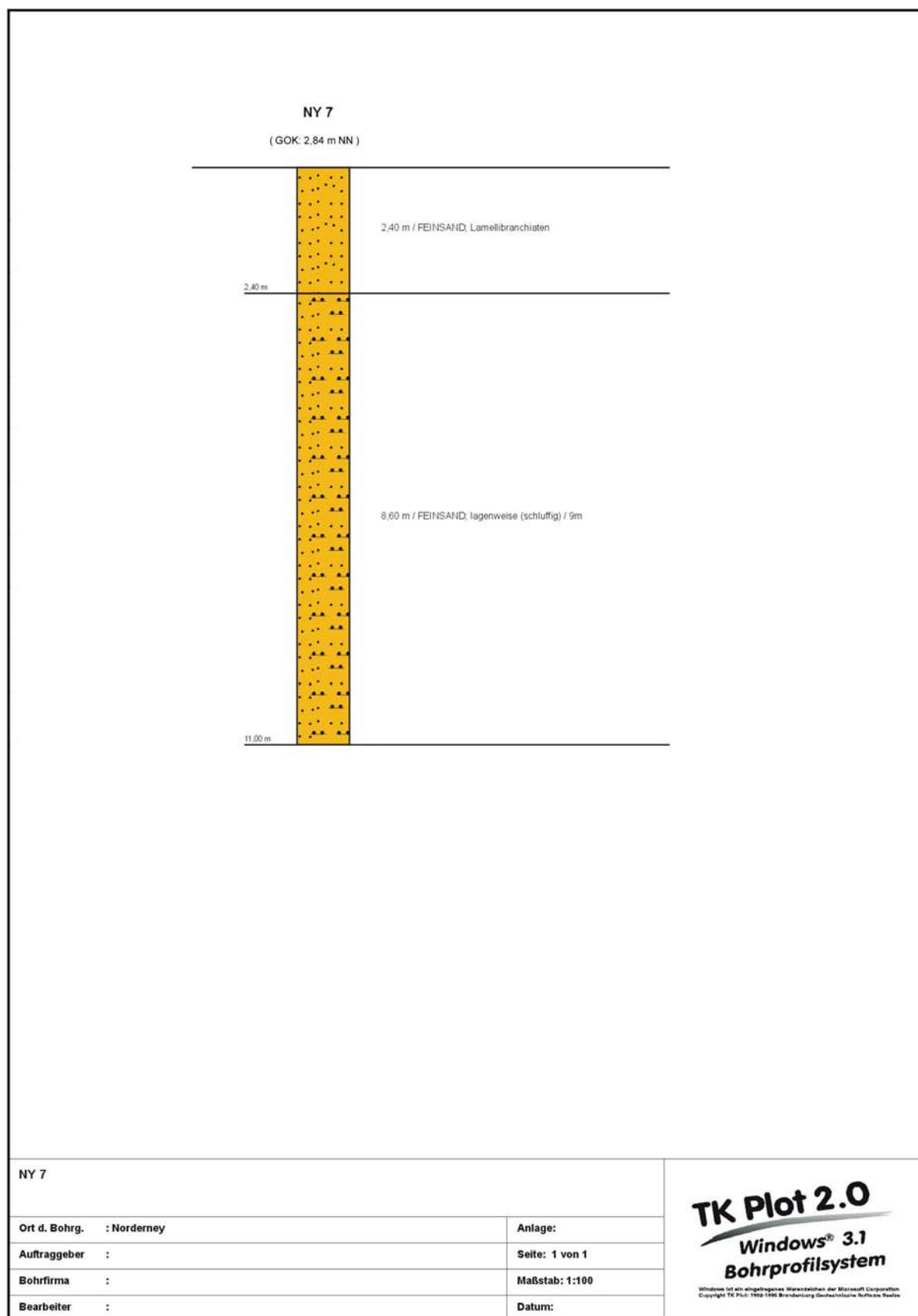


Abb. A1-18: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle NY7 von Norderney, Filtertiefen 7,00 – 9,00 m u. GOK und 46,00 – 48,00 m u. GOK.

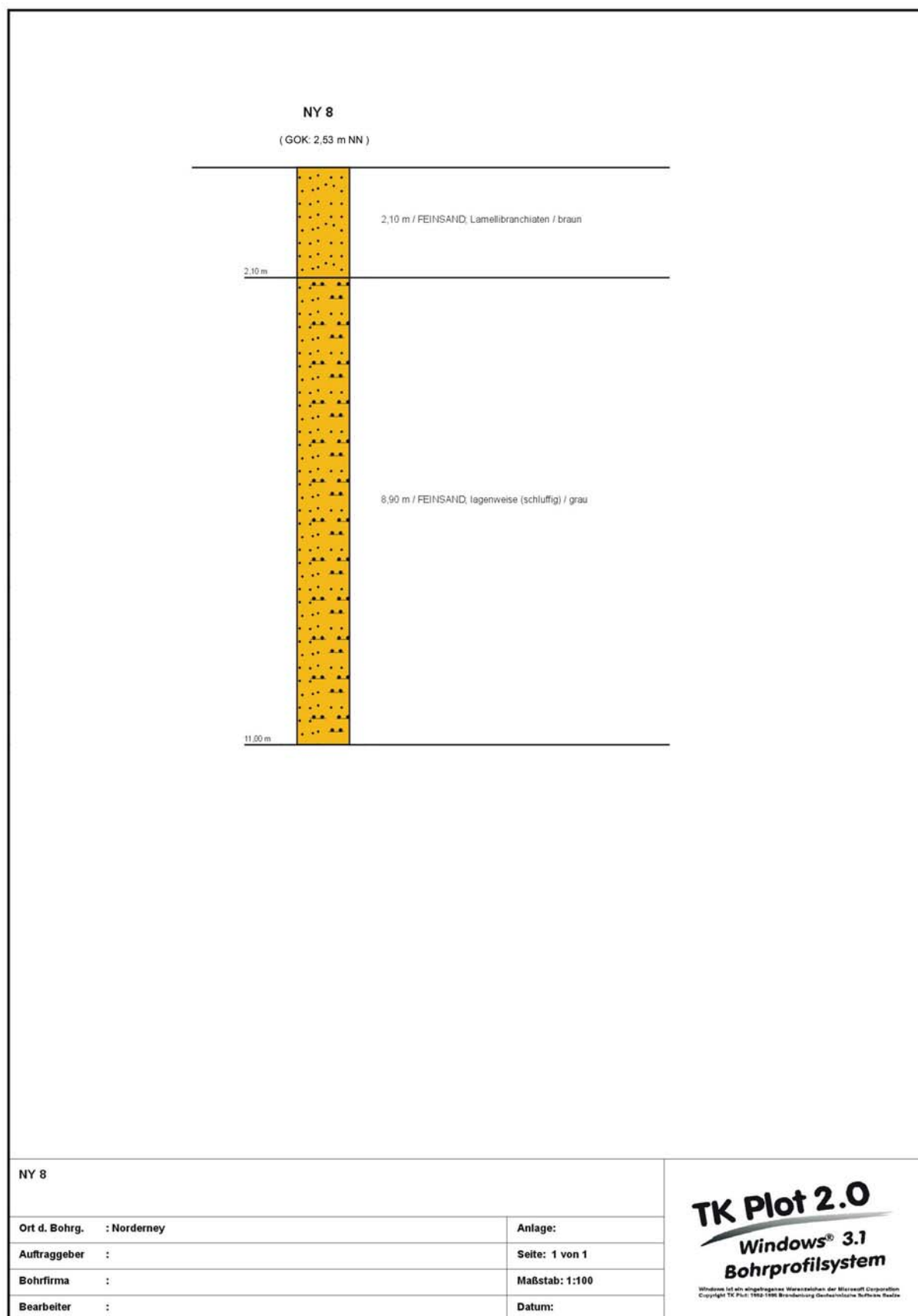


Abb. A1-19: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle NY8 von Norderney, Filtertiefen 7,00 – 9,00 m u. GOK und 49,00 – 59,00 m u. GOK.

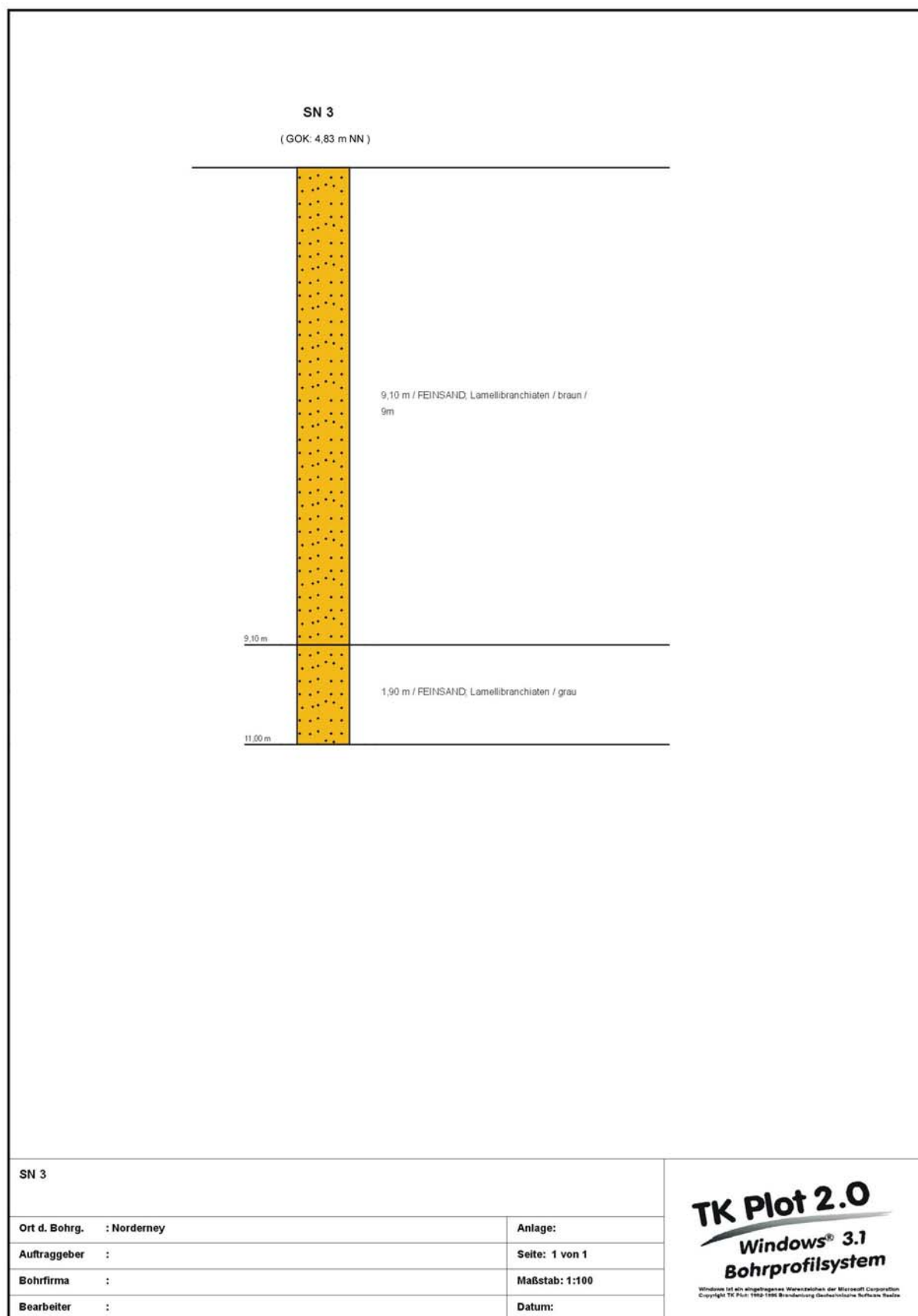


Abb. A1-20: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle SN3 von Norderney, Filtertiefe 7,00 – 9,00 m u. GOK.

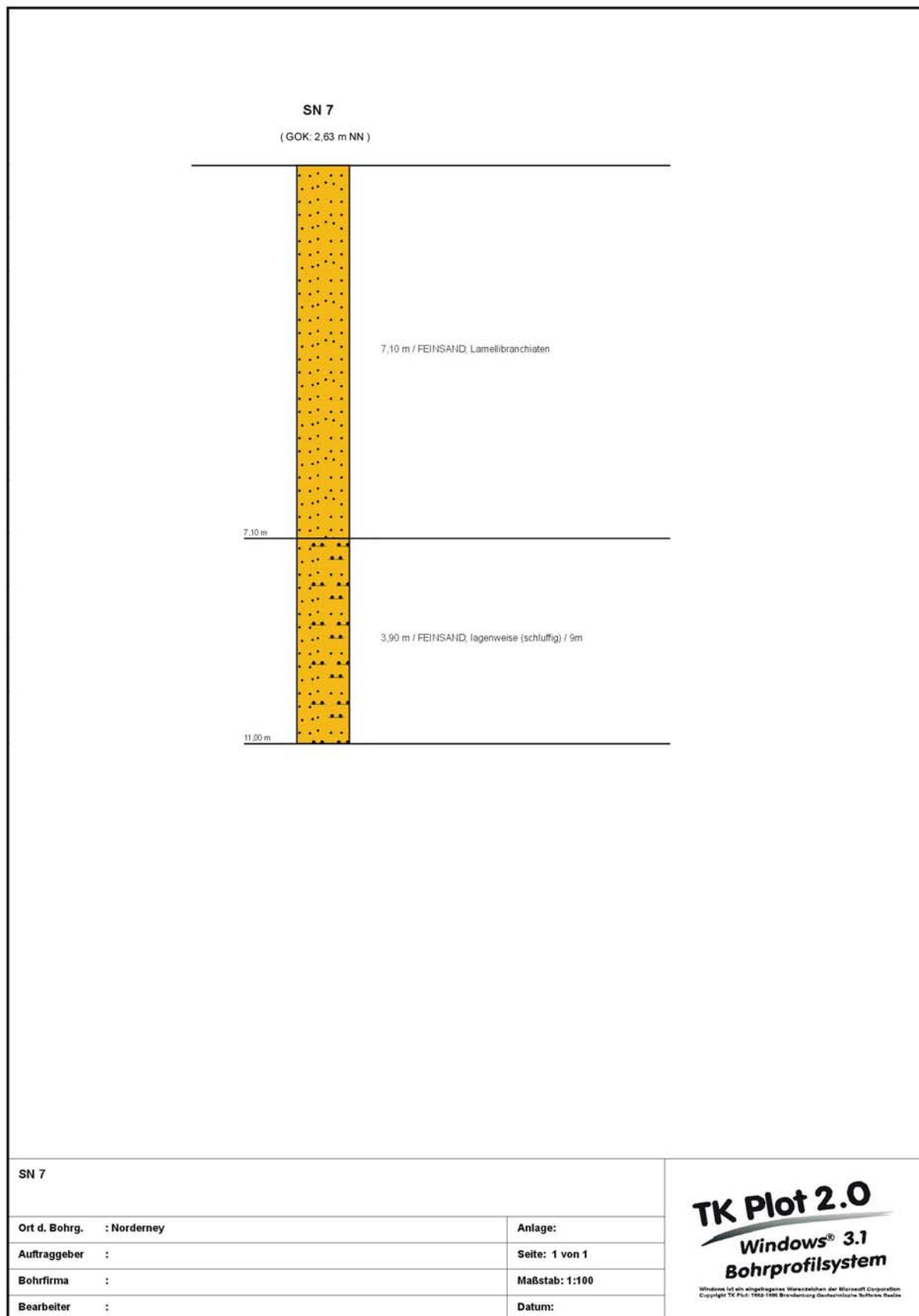


Abb. A1-21: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle SN7 von Norderney, Filtertiefe 7,00 – 9,00 m u. GOK.

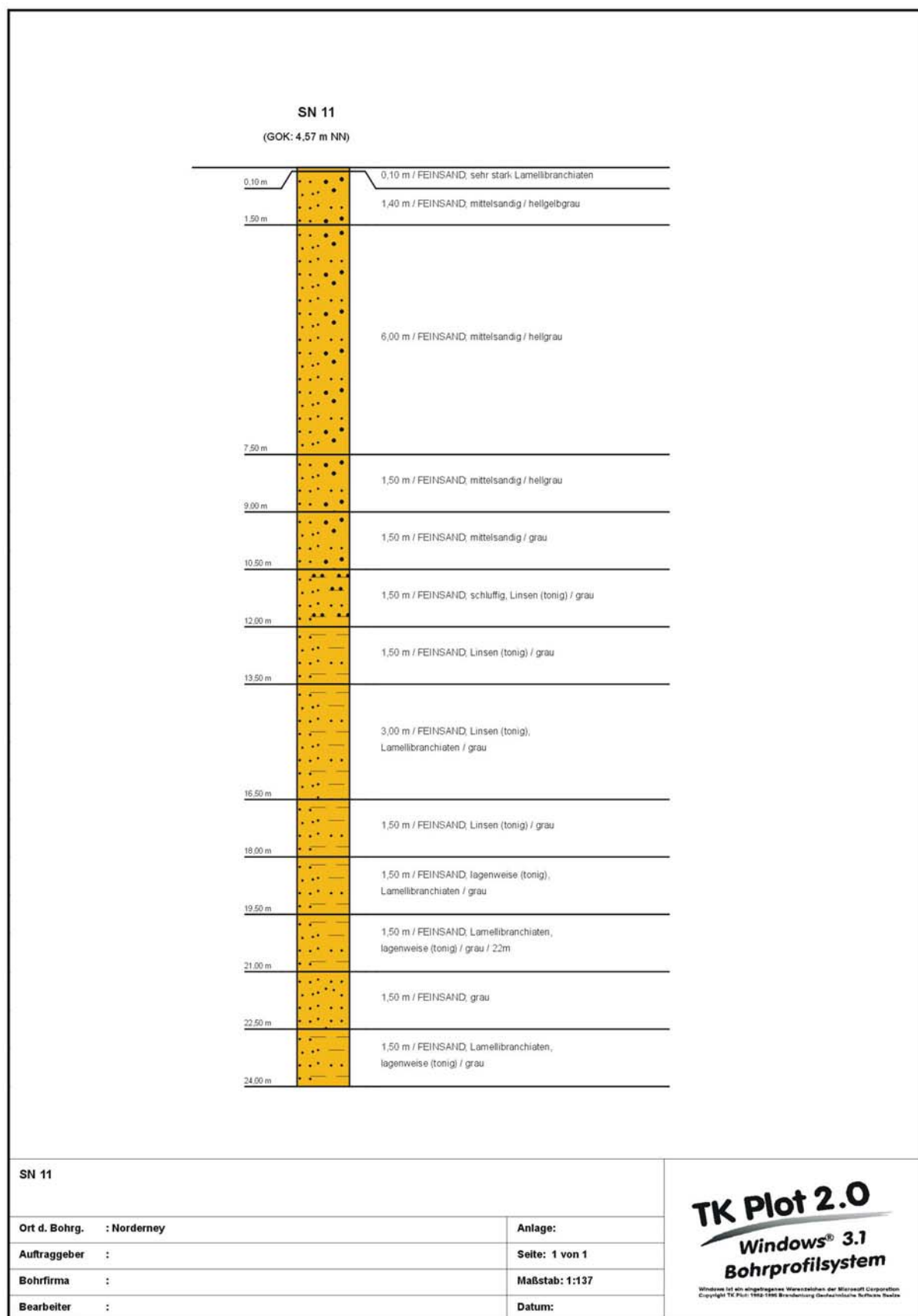


Abb. A1-22: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle SN11 von Norderney, Filtertiefe 14,00 – 22,00 m u. GOK.

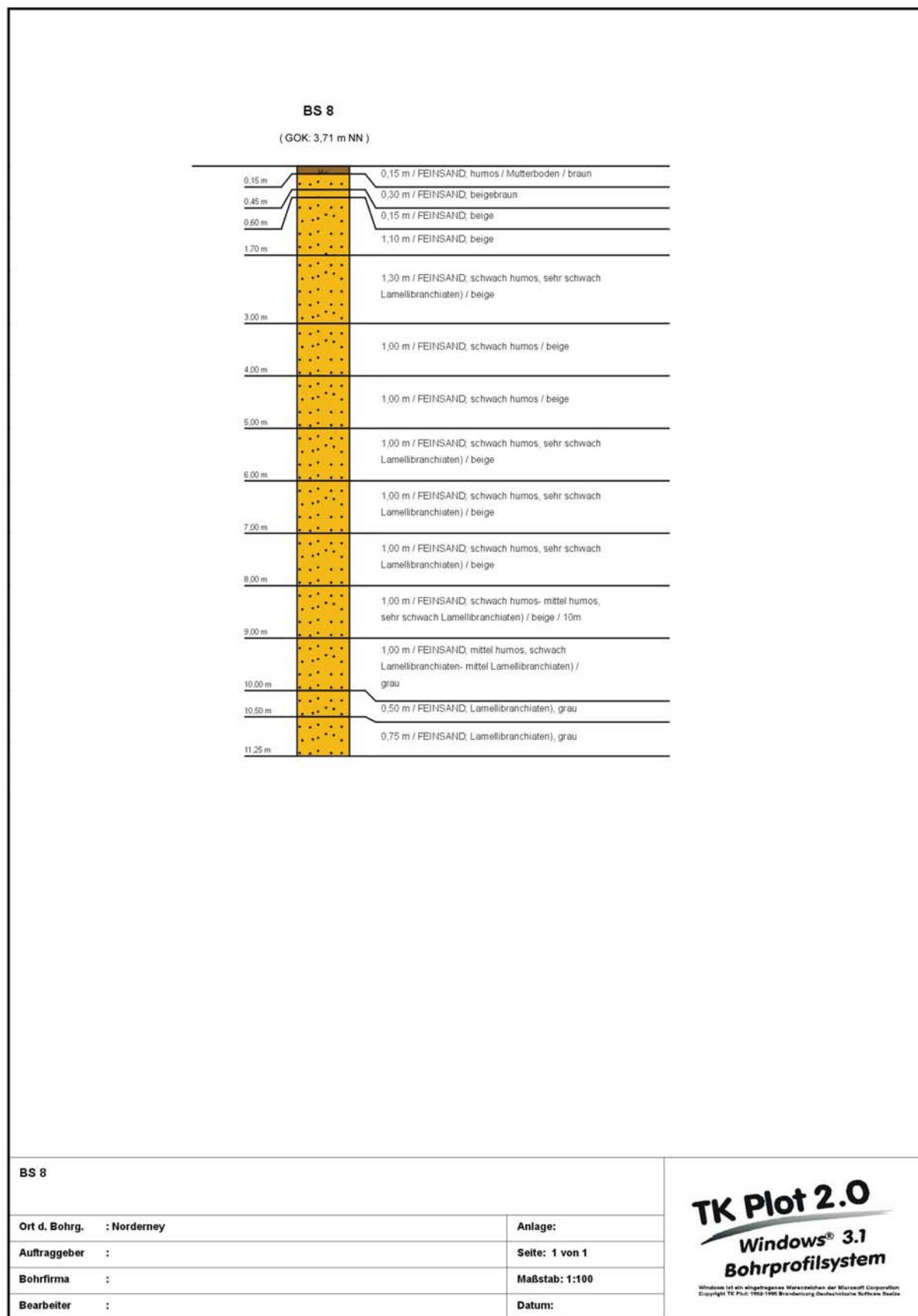
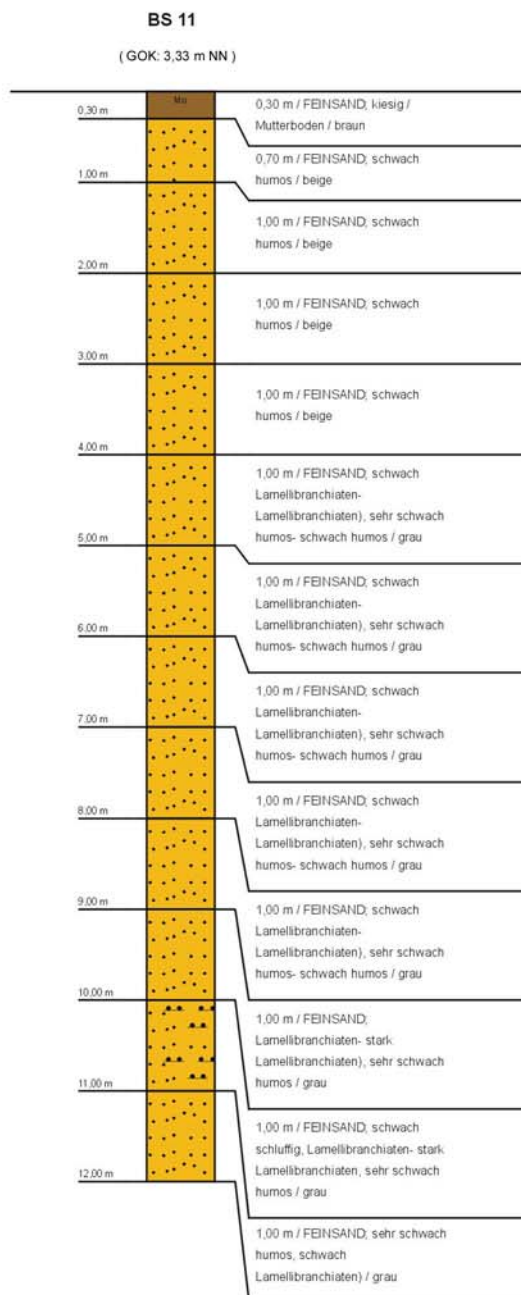


Abb. A1-23: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle BS8 von Norderney, Filtertiefe 8,00 – 10,00 m u. GOK.





Fortsetzung auf Seite 2

BS 11

Ort d. Bohrg. : Norderney

Anlage:

Auftraggeber :

Seite: 1 von 3

Bohrfirma :

Maßstab: 1:75

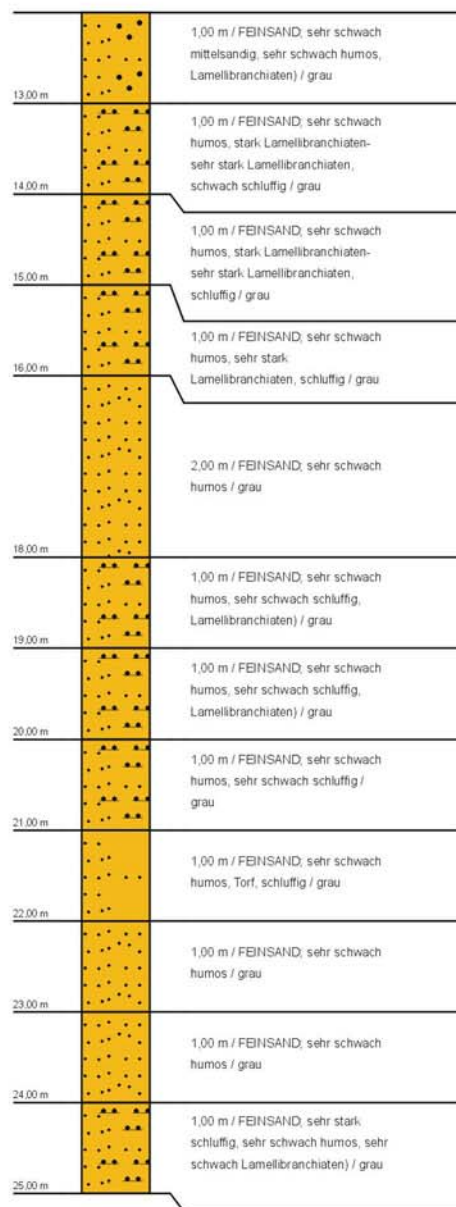
Bearbeiter :

Datum:

**TK Plot 2.0**  
**Windows® 3.1**  
**Bohrprofilssystem**

Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.  
 Copyright TK Plot: 1992-1995 Brandenburg Geotechnische Software GmbH

Fortsetzung von Seite 1



Fortsetzung auf Seite 3

BS 11

Ort d. Bohrg. : Norderney

Anlage:

Auftraggeber :

Seite: 2 von 3

Bohrfirma :

Maßstab: 1:75

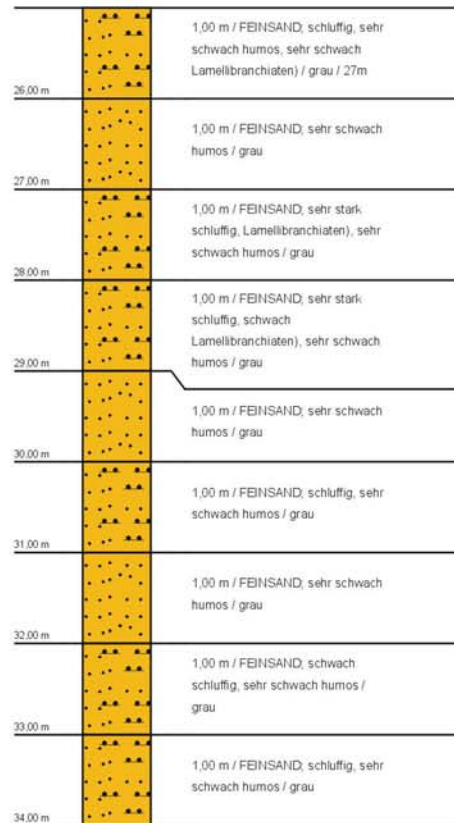
Bearbeiter :

Datum:

**TK Plot 2.0**  
**Windows® 3.1**  
**Bohrprofilssystem**

Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.  
 Copyright TK Plot: 1992-1995 Brandenburg Geotechnische Software-Service

Fortsetzung von Seite 2



BS 11

Ort d. Bohrg. : Norderney

Anlage:

Auftraggeber :

Seite: 3 von 3

Bohrfirma :

Maßstab: 1:75

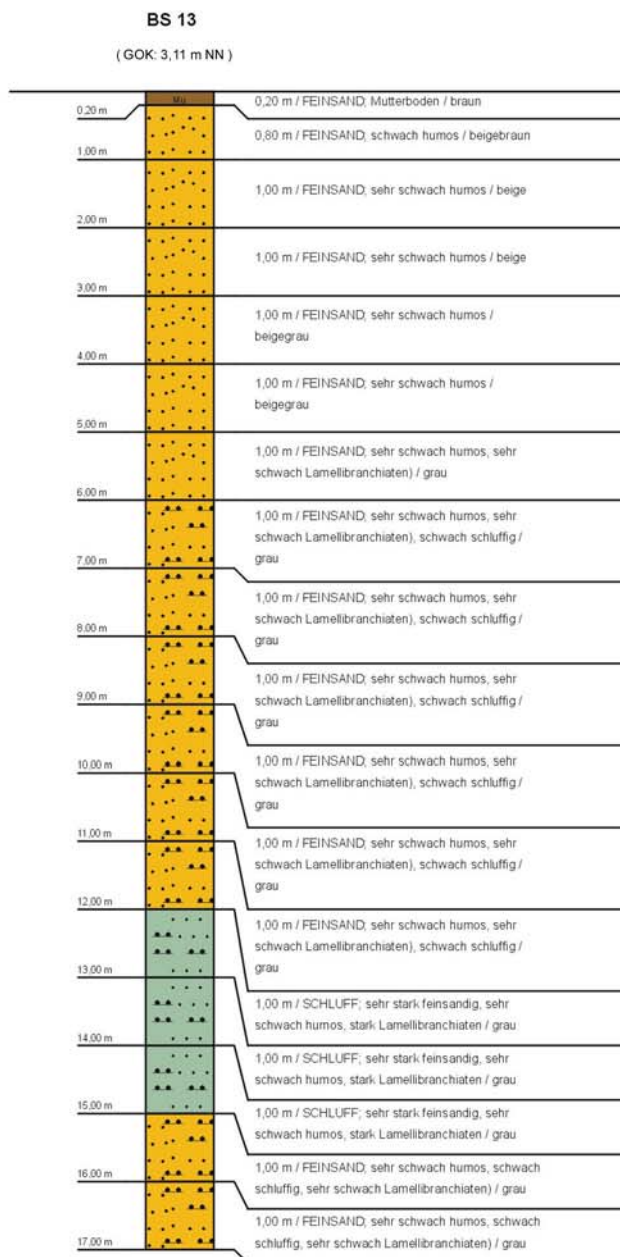
Bearbeiter :

Datum:

**TK Plot 2.0**  
**Windows® 3.1**  
**Bohrprofilssystem**

Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.  
 Copyright TK Plot: 1992-1995 Brandenburg Geotechnische Software GmbH

Abb. A1-24: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle BS11 von Norderney, Filtertiefe 25,00 – 29,00 m u. GOK.



Fortsetzung auf Seite 2

BS 13

Ort d. Bohrg. : Norderney

Auftraggeber :

Bohrfirma :

Bearbeiter :

Anlage:

Seite: 1 von 2

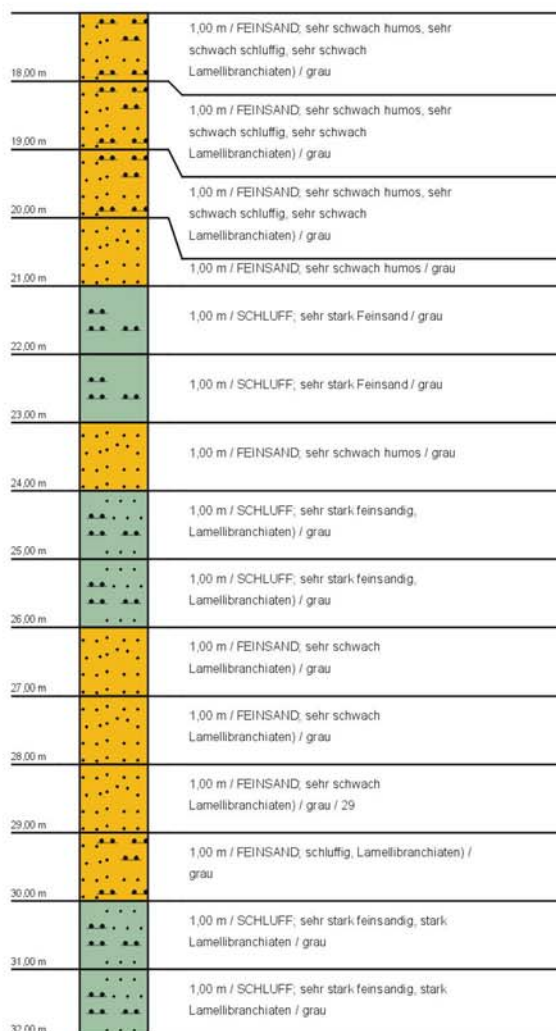
Maßstab: 1:100

Datum:

**TK Plot 2.0**  
**Windows® 3.1**  
**Bohrprofilssystem**

Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.  
 Copyright TK Plot: 1992-1995 Brandenburg Geotechnische Software Studio

Fortsetzung von Seite 1



BS 13

Ort d. Bohrg. : Norderney

Anlage:

Auftraggeber :

Seite: 2 von 2

Bohrfirma :

Maßstab: 1:100

Bearbeiter :

Datum:

**TK Plot 2.0**  
**Windows® 3.1**  
**Bohrprofilssystem**

Windows ist ein eingetragenes Warenzeichen der Microsoft Corporation.  
 Copyright TK Plot: 1992-1995 Bröckelverlag Deutschlandische Software Systeme

Abb. A1-25: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle BS13 von Norderney, Filtertiefe 27,00 – 29,00 m u. GOK.

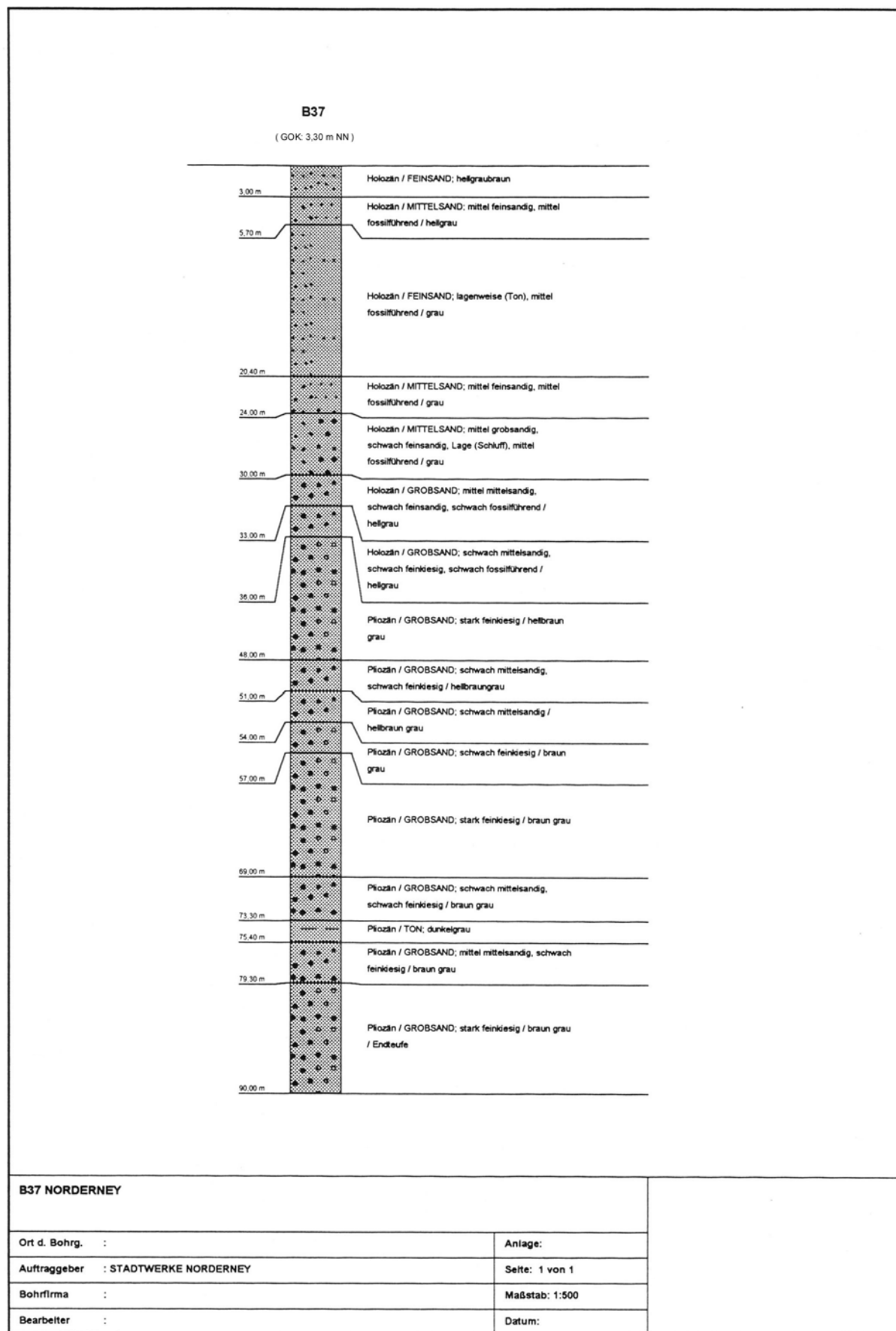


Abb. A1-26: Bohrprofil der Vorfeldmessstelle B37 von Norderney, Filtertiefen 8,00 – 10,00 m u. GOK und 43,00 – 45,00 m u. GOK.

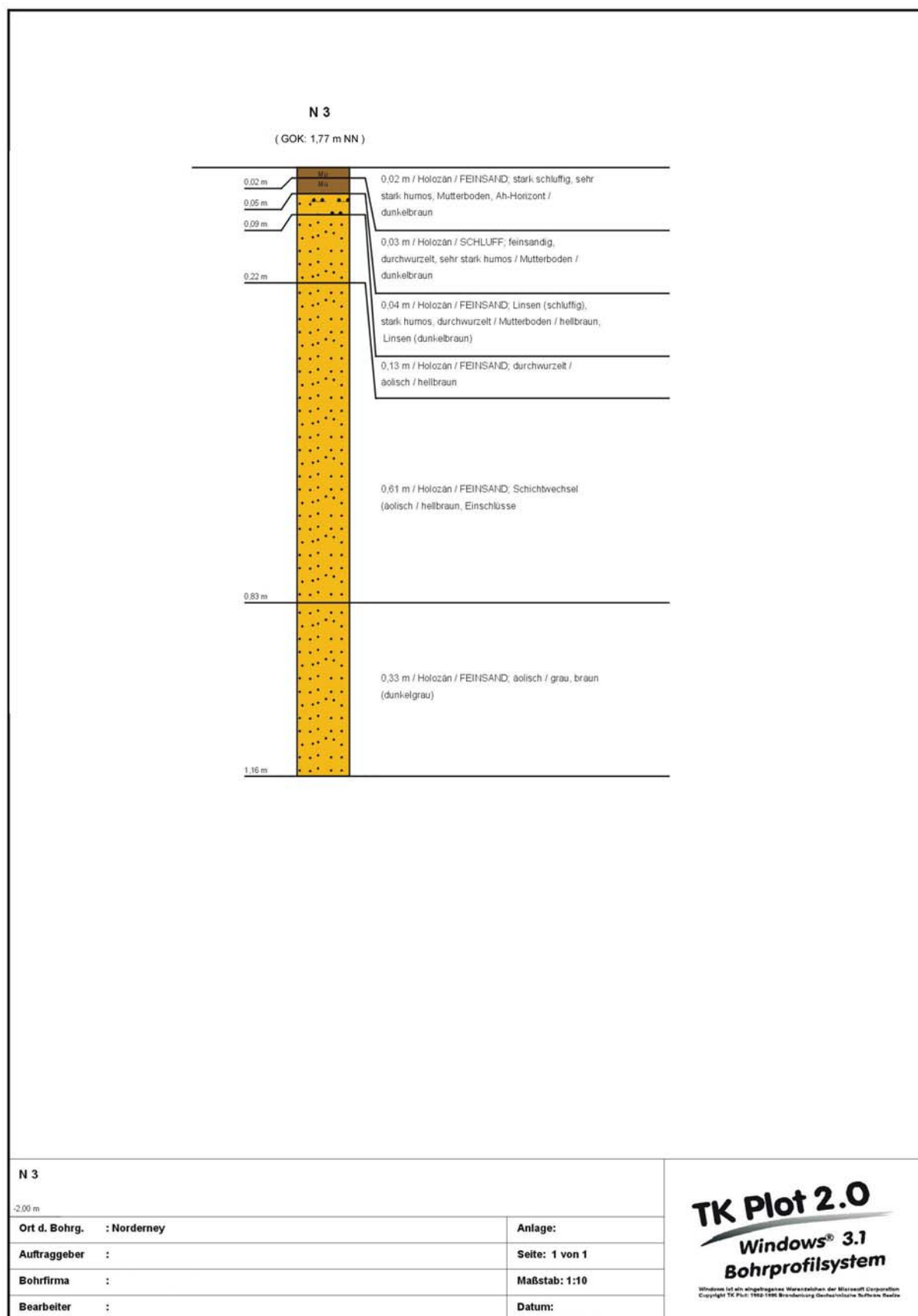


Abb. A1-27: Bohrprofil der Messstelle der DF N3 von Norderney, Filtertiefe 0,84 – 1,84 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

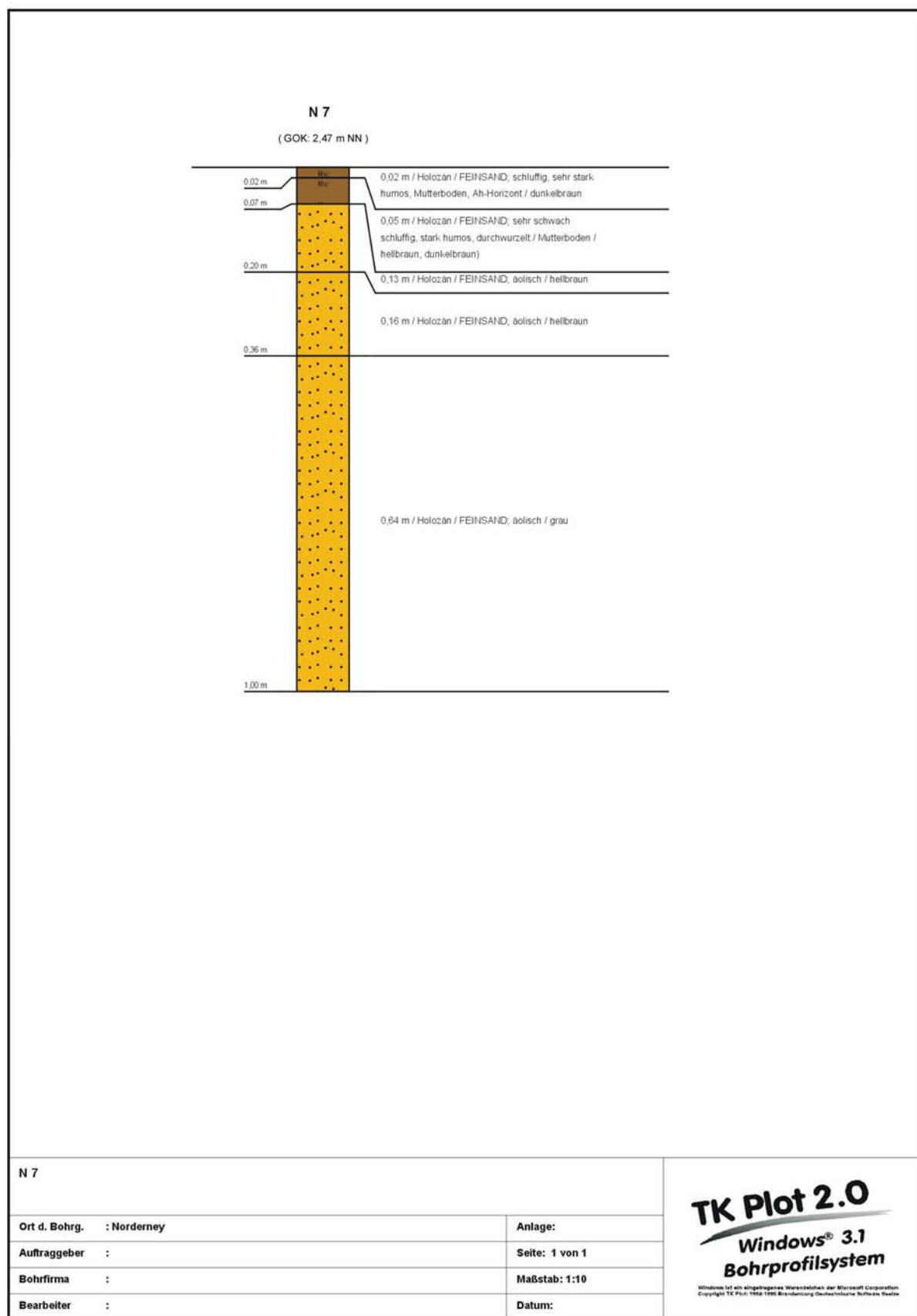


Abb. A1-28: Bohrprofil der Messstelle der DF N7 von Norderney, Filtertiefe 0,75 – 1,75 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.



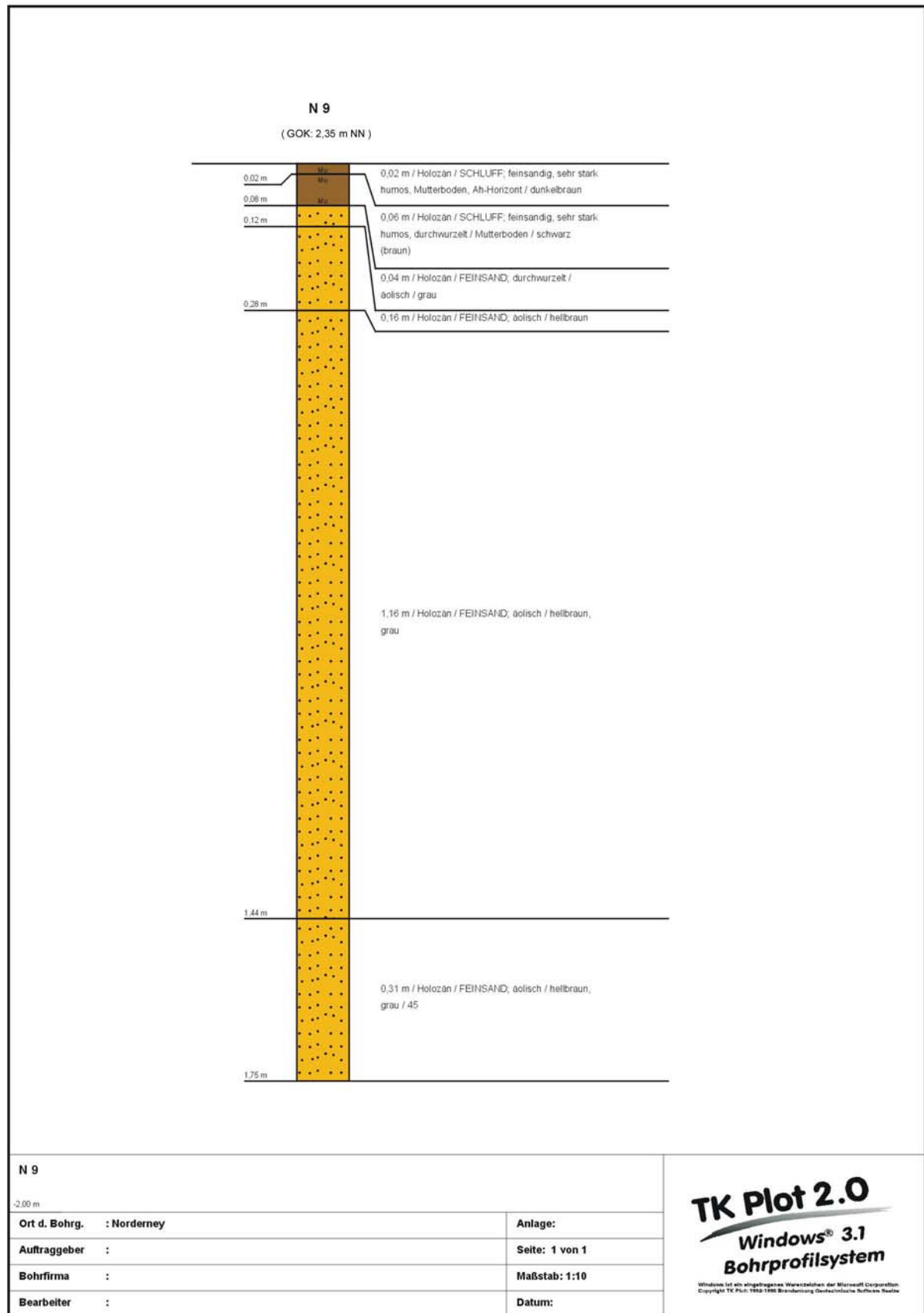


Abb. A1-29: Bohrprofil der Messstelle der DF N9 von Norderney, Filtertiefe 0,71 – 1,71 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

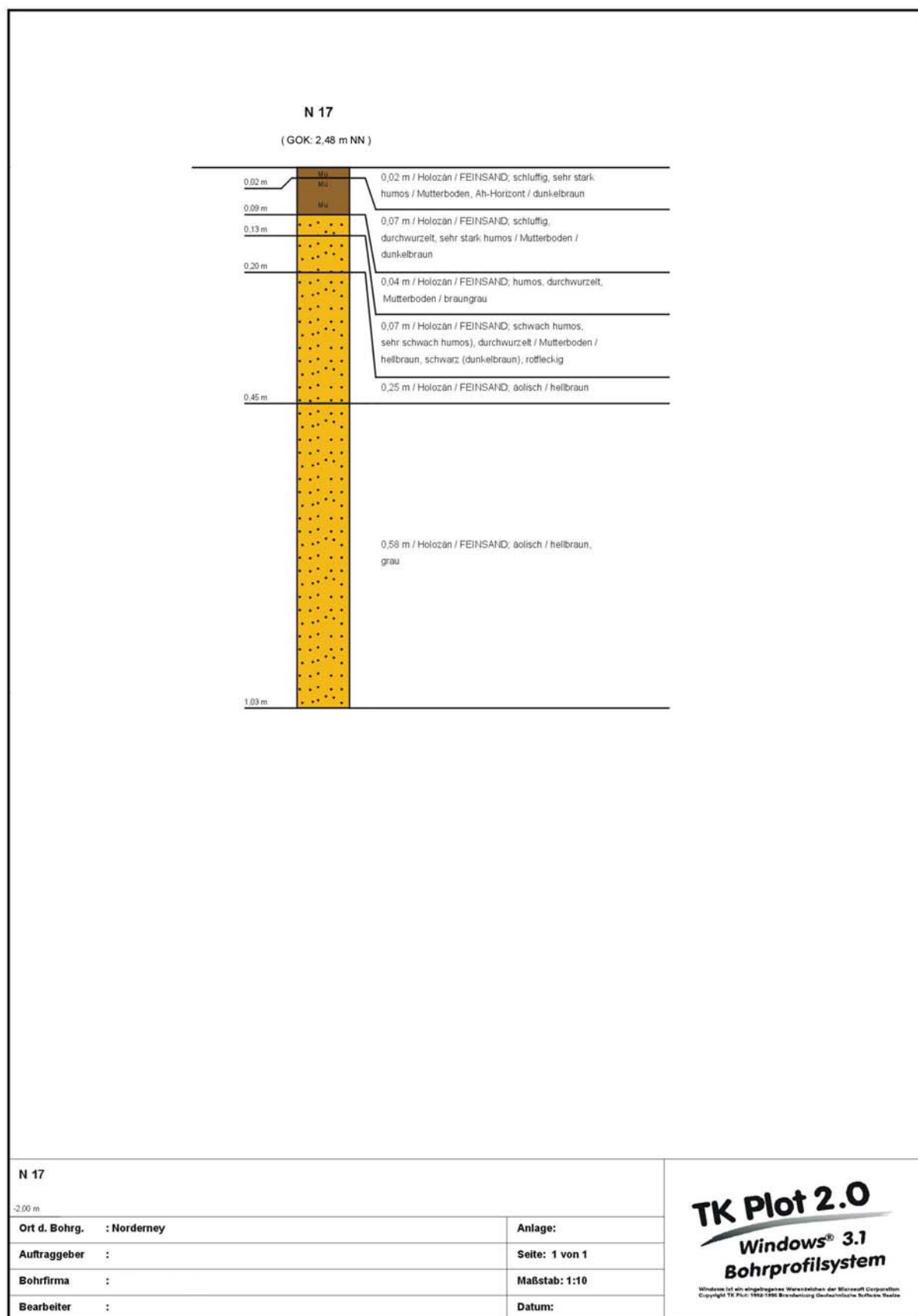


Abb. A1-30: Bohrprofil der Messstelle der DF N17 von Norderney, Filtertiefe 0,81 – 1,81 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

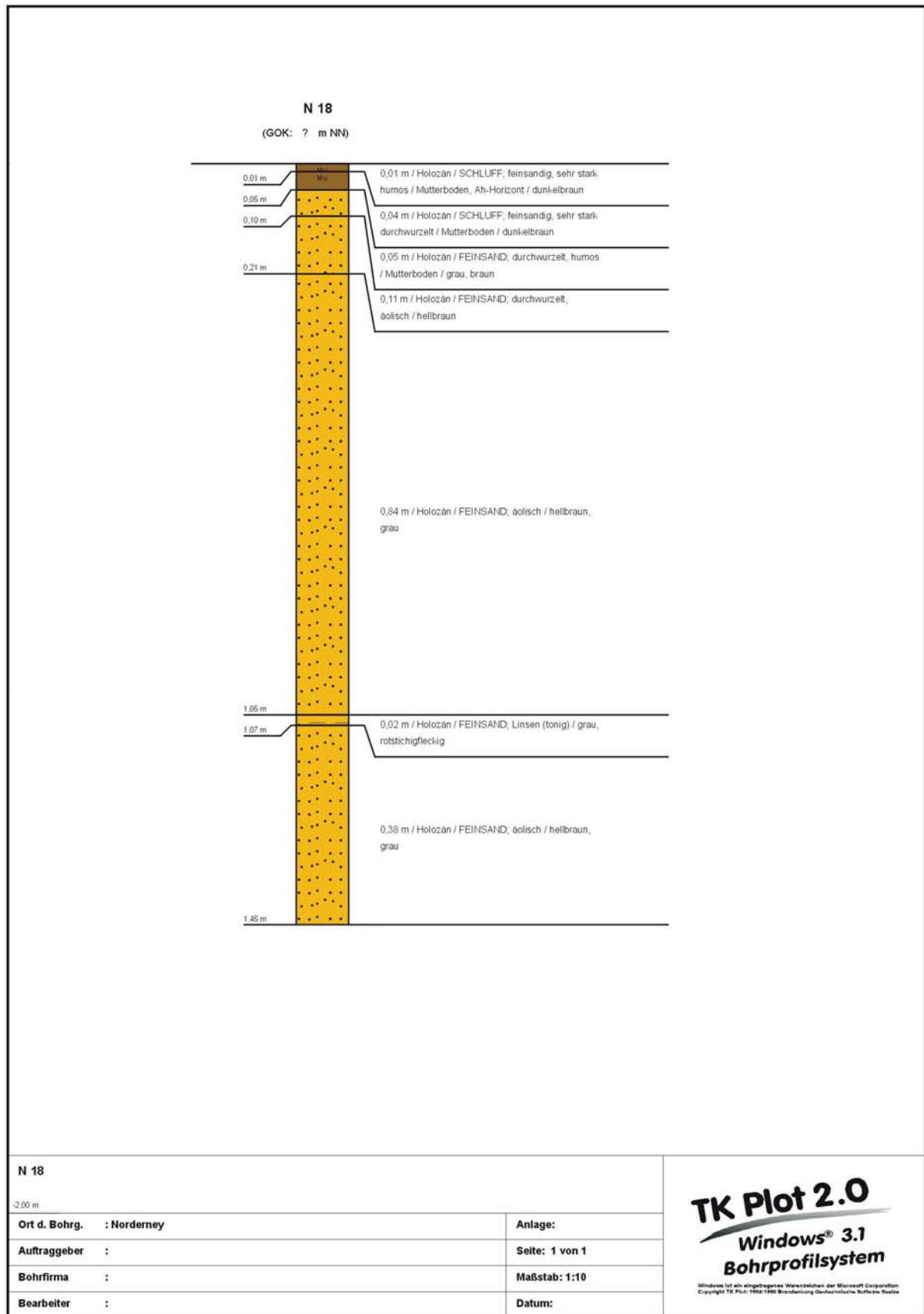


Abb. A1-31: Bohrprofil der Messstelle der DF N18 von Norderney, Filtertiefe 0,63 – 1,63 m u. GOK, Endteufe der Bohrung 2 m, im unteren Bereich Kernverlust.

## **Anhang 2**

### **Sieblinien**

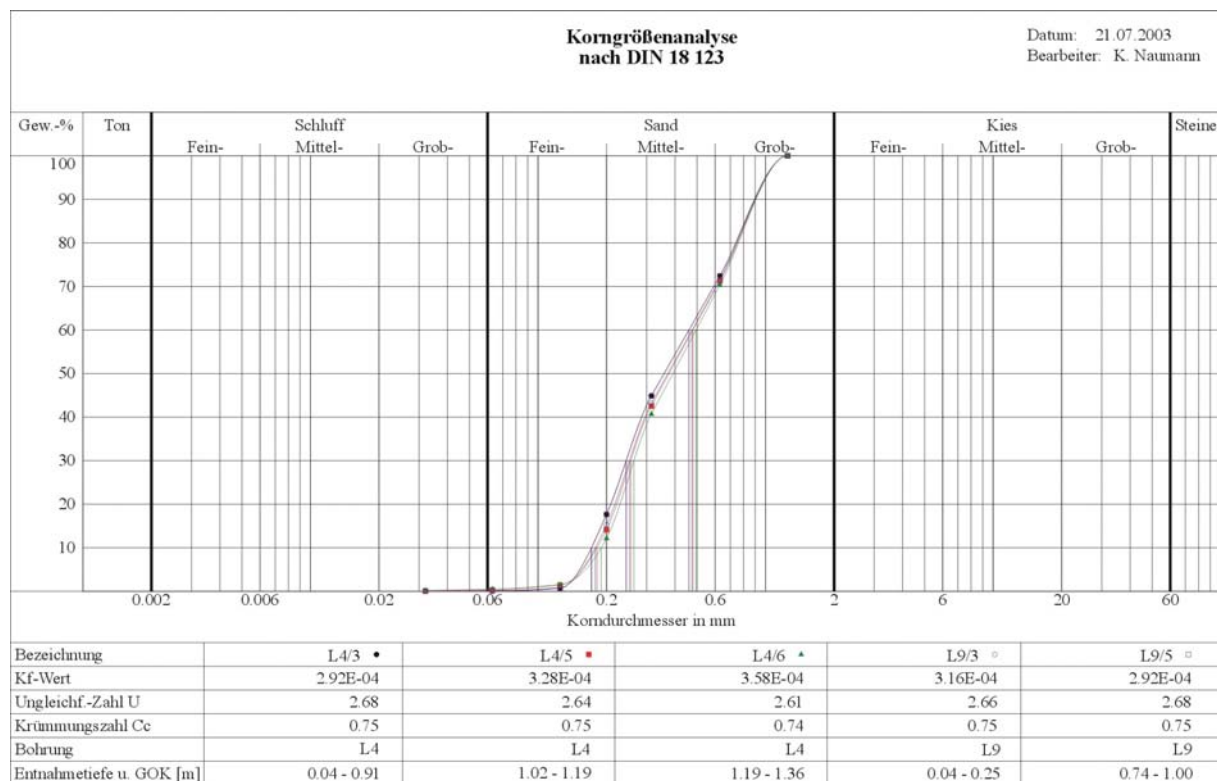


Abb. A2-1: Sieblinien der Sedimentproben ausgewählter Dauerbeobachtungsflächen von Langeoog (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-2).

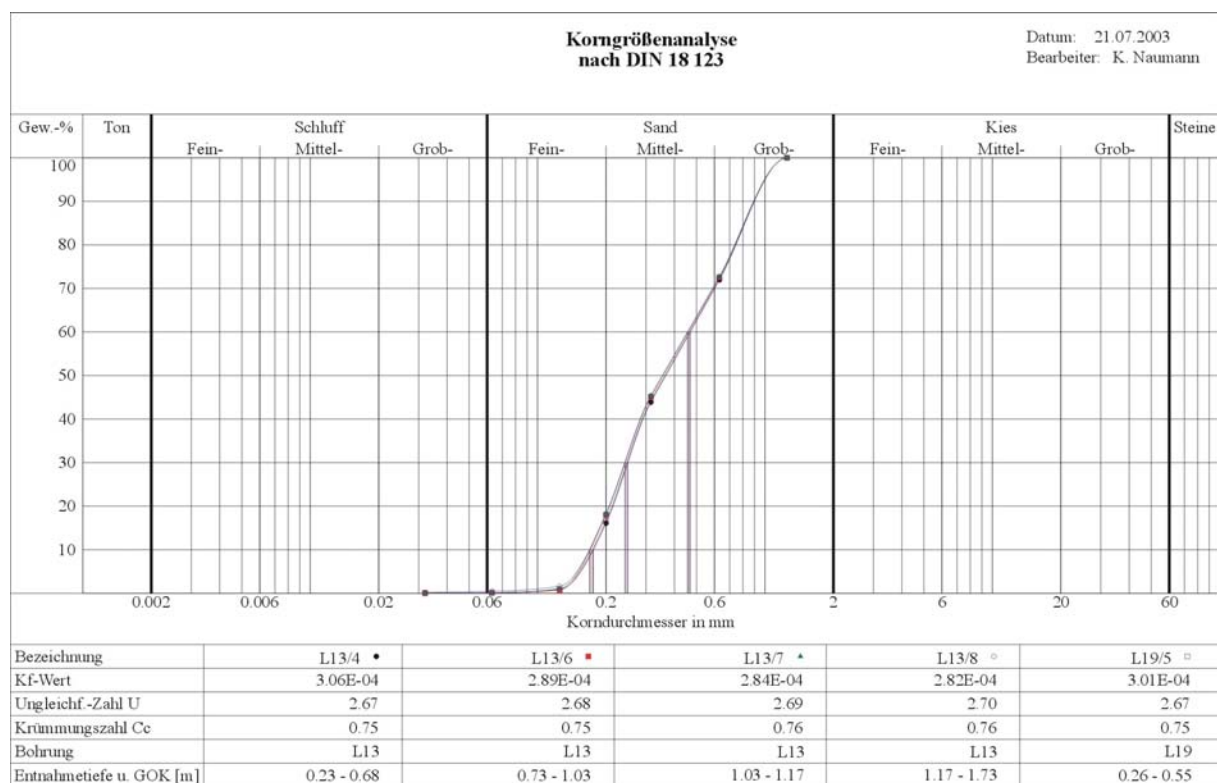


Abb. A2-2: Sieblinien der Sedimentproben ausgewählter Dauerbeobachtungsflächen von Langeoog (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-2).

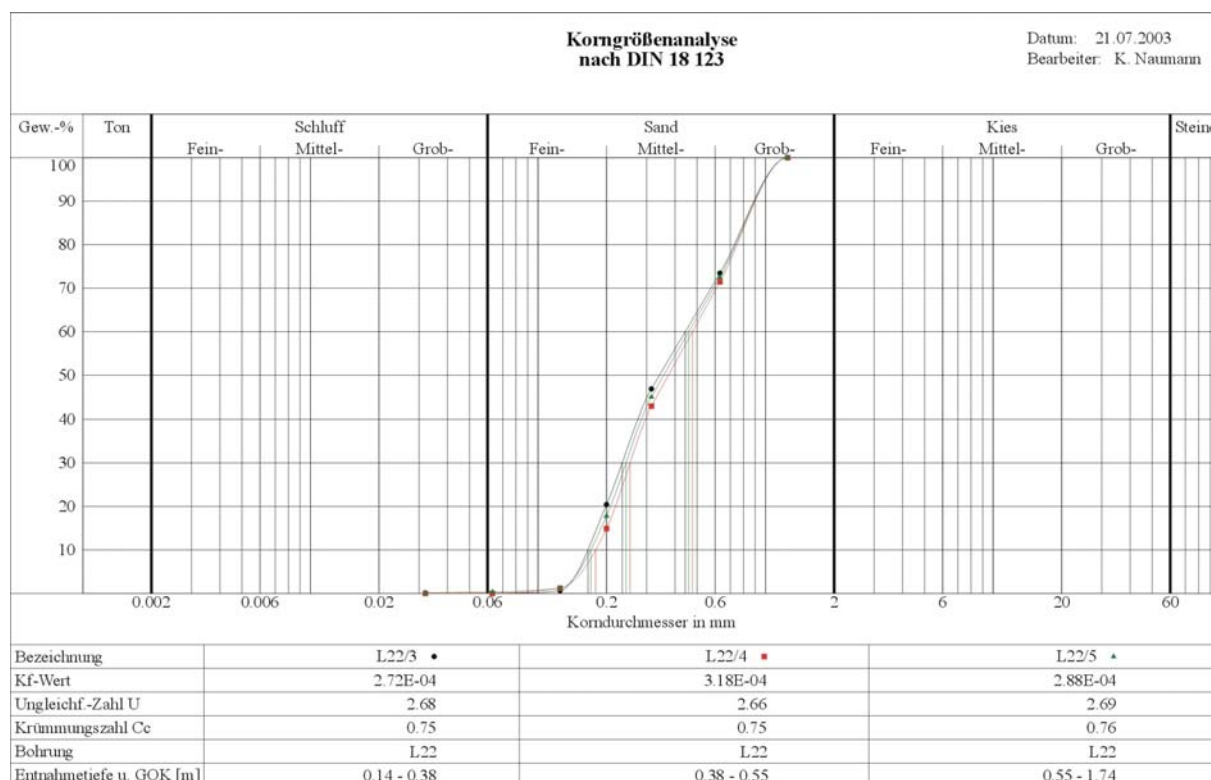


Abb. A2-3: Sieblinien der Sedimentproben ausgewählter Dauerbeobachtungsflächen von Langeoog (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-2).

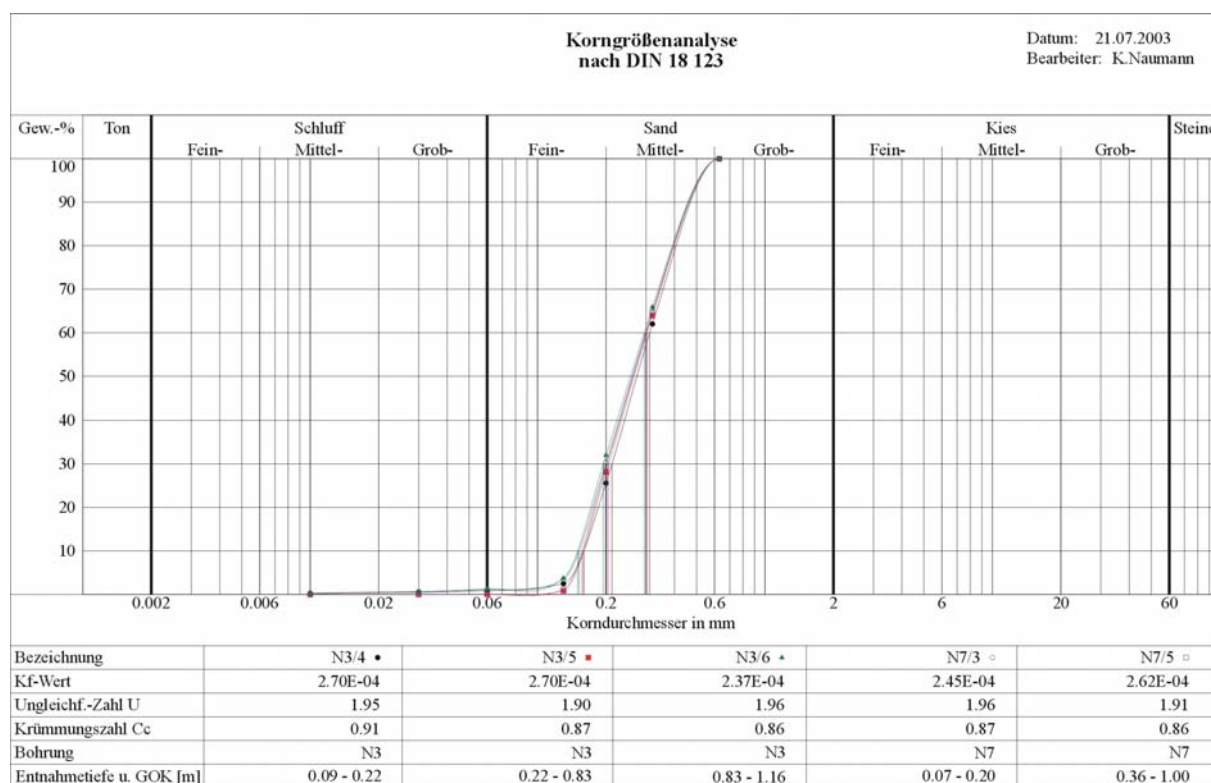


Abb. A2-4: Sieblinien der Sedimentproben ausgewählter Dauerbeobachtungsflächen von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-3).

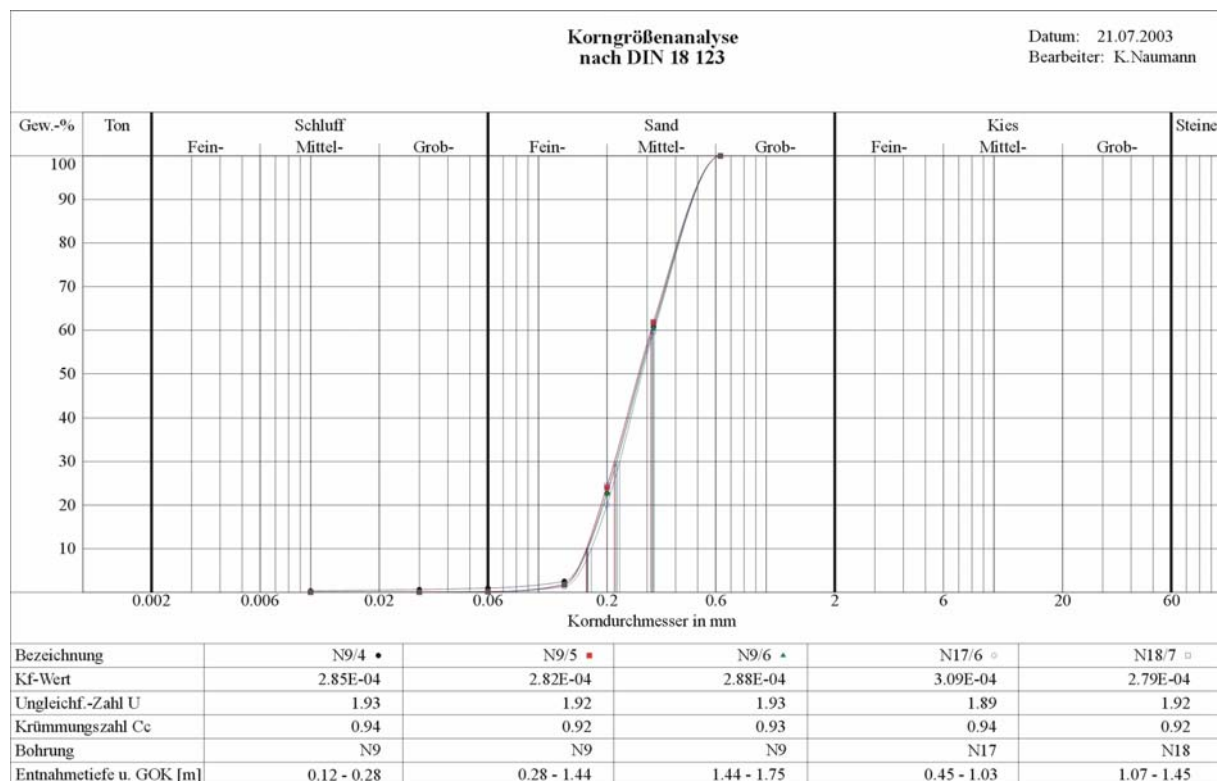


Abb. A2-5: Sieblinien der Sedimentproben ausgewählter Dauerbeobachtungsflächen von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-3).

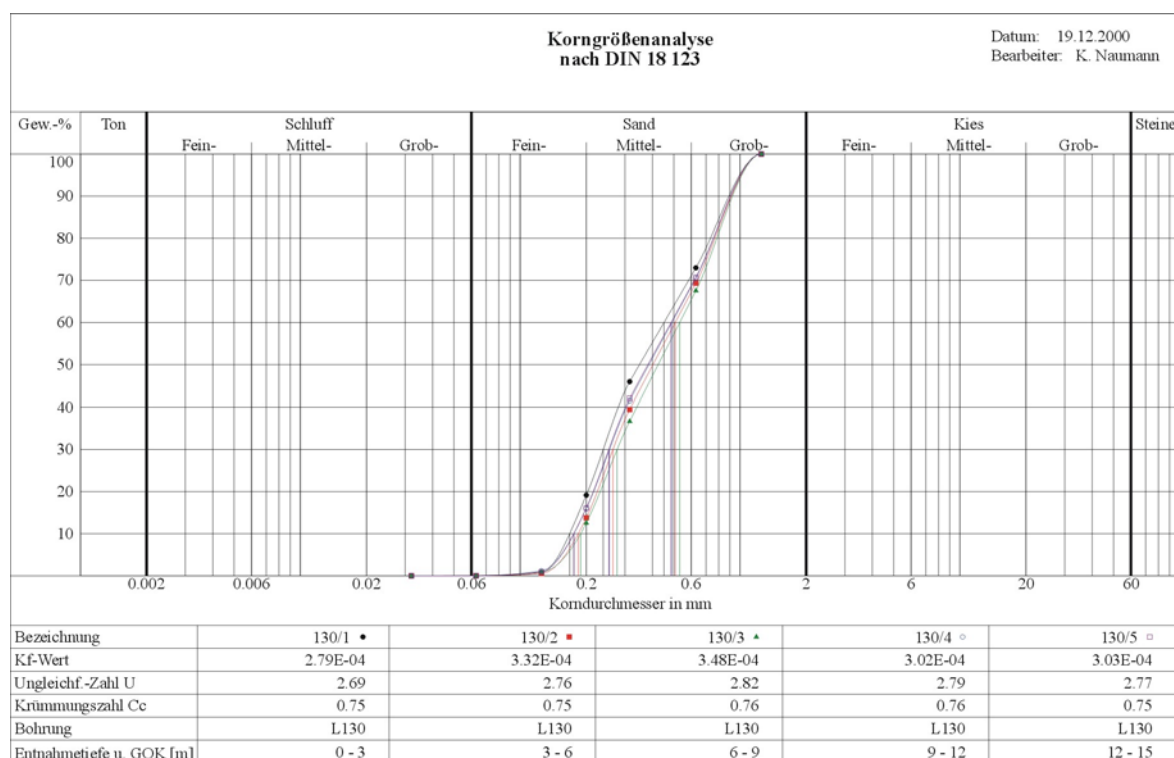


Abb. A2-6: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 0 bis 15 m u. GOK der Vorfeldmessstelle 130 von Langeoog (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-4).

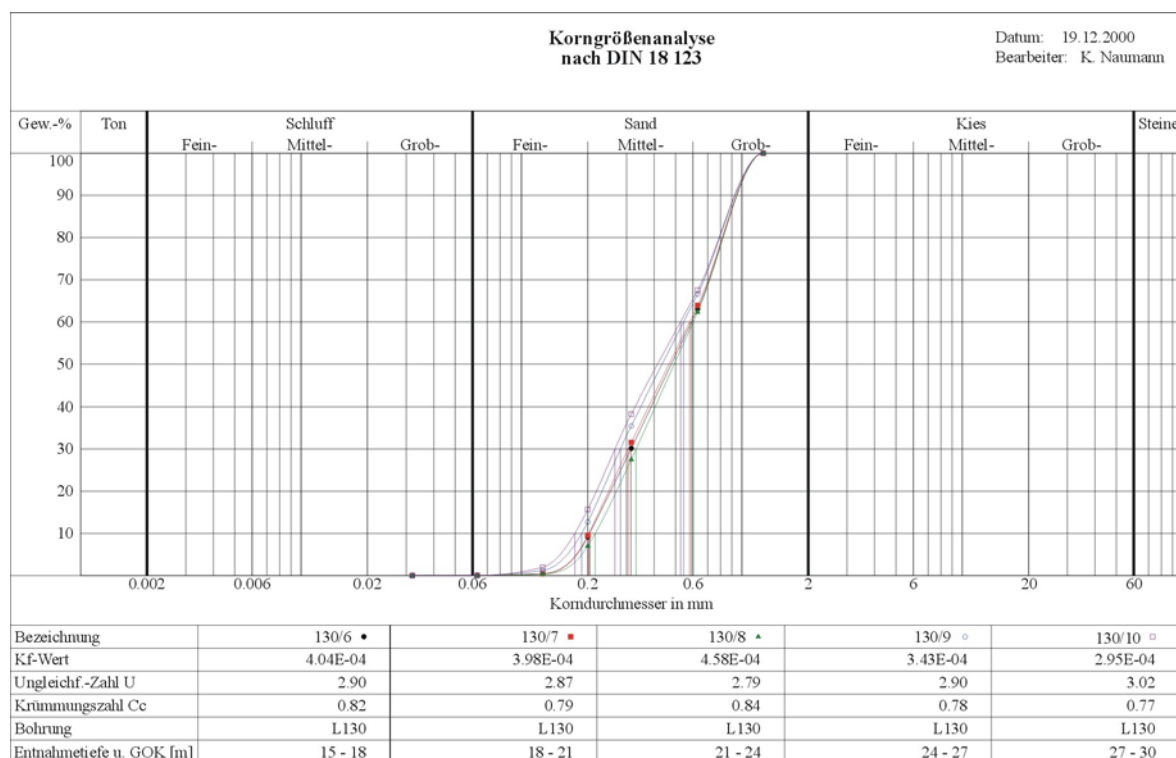


Abb. A2-7: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 0 bis 15 m u. GOK der Vorfeldmessstelle 130 von Langeoog (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-4).

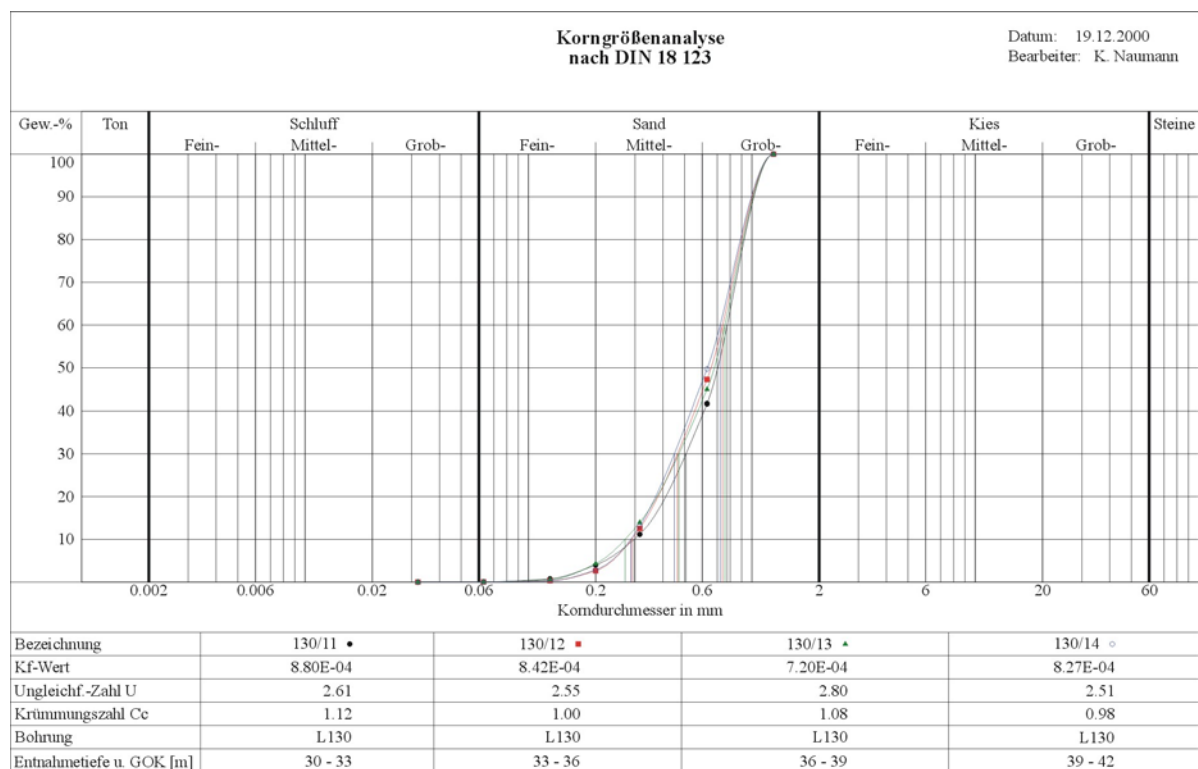


Abb. A2-8: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 0 bis 15 m u. GOK der Vorfeldmessstelle 130 von Langeoog (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-4).



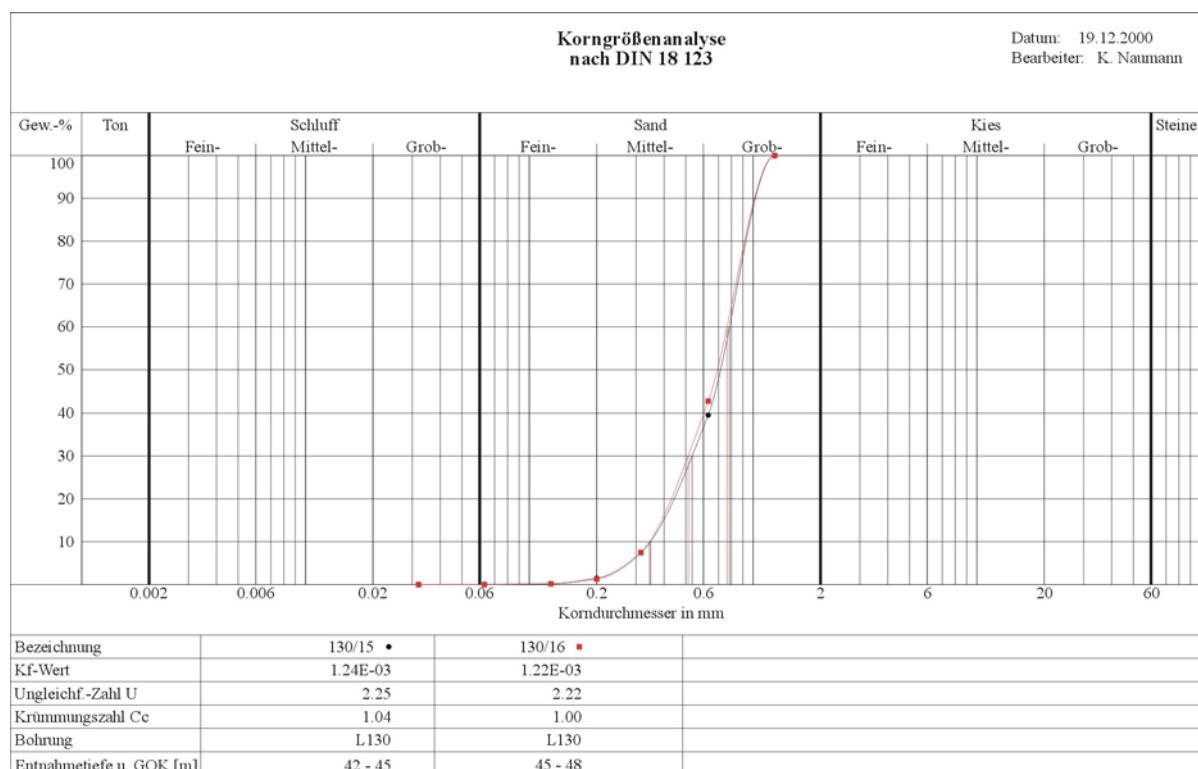


Abb. A2-9: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 0 bis 15 m u. GOK der Vorfeldmessstelle 130 von Langeoog (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-4).

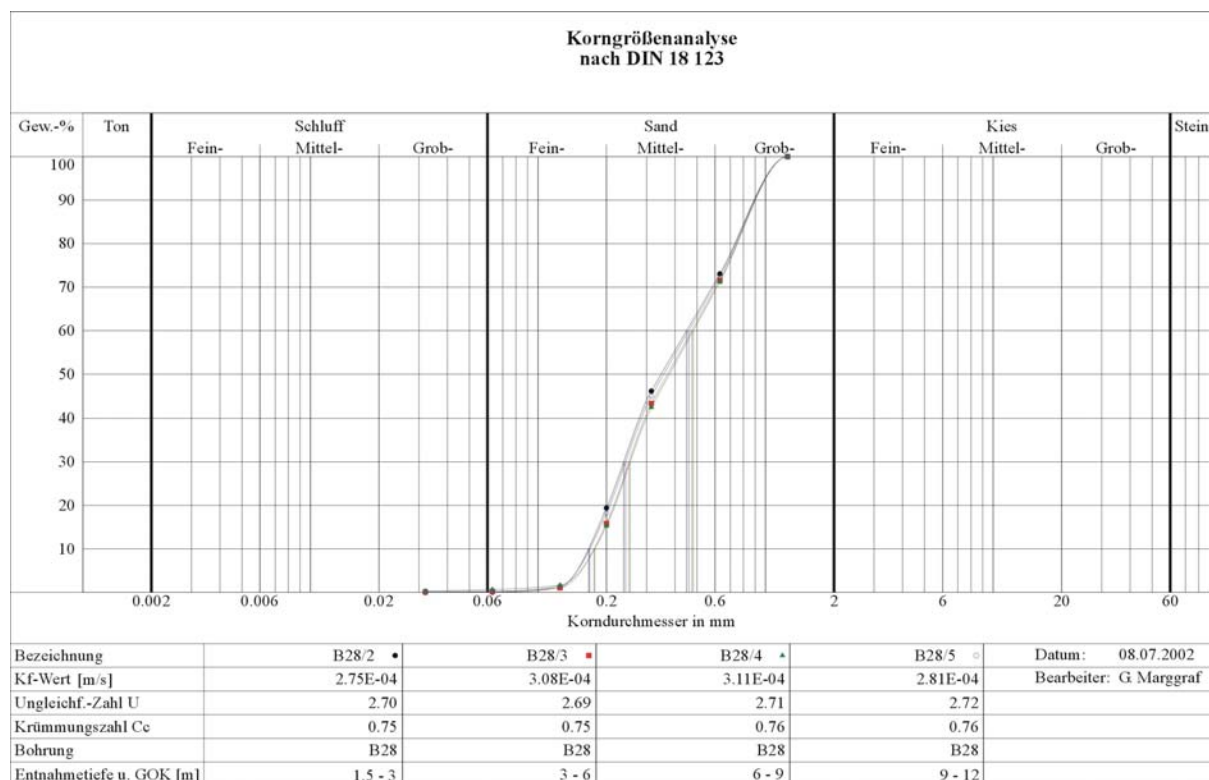


Abb. A2-10: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 1,5 bis 12 m u. GOK des Förderbrunnens B28 von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-5).

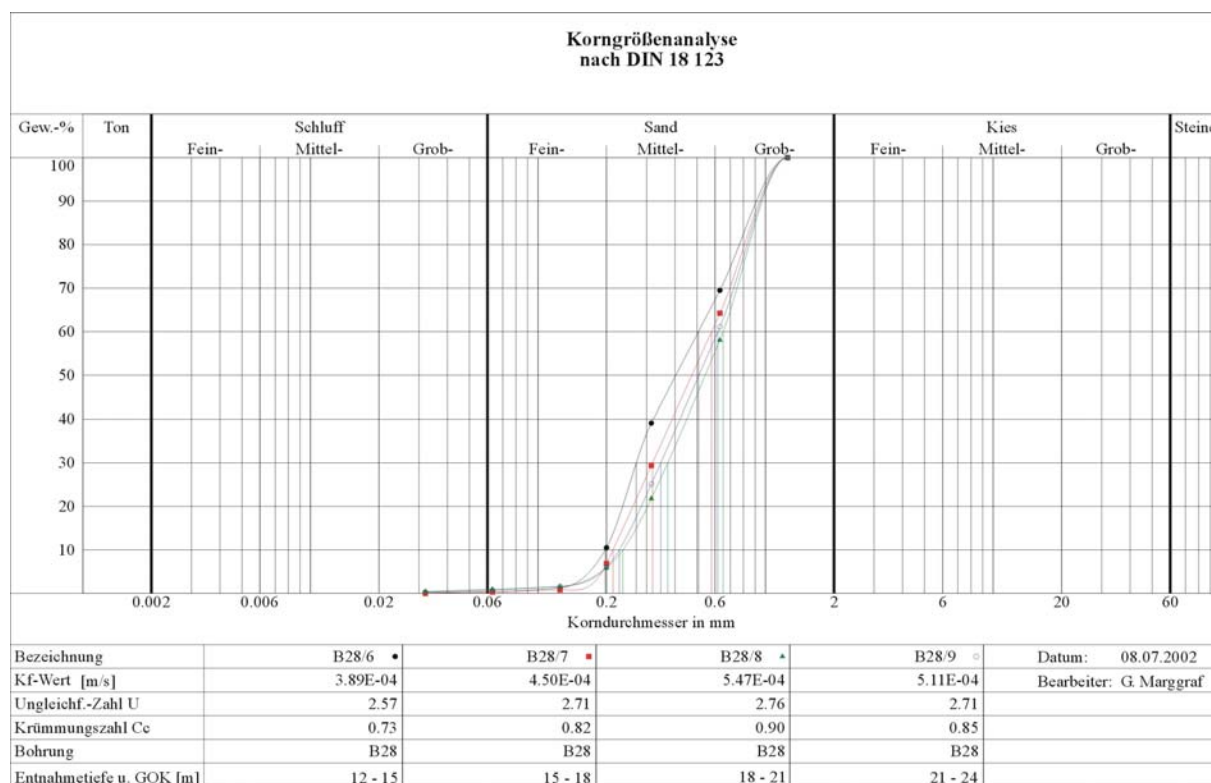


Abb. A2-11: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 12 bis 24 m u. GOK des Förderbrunnens B28 von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-5).

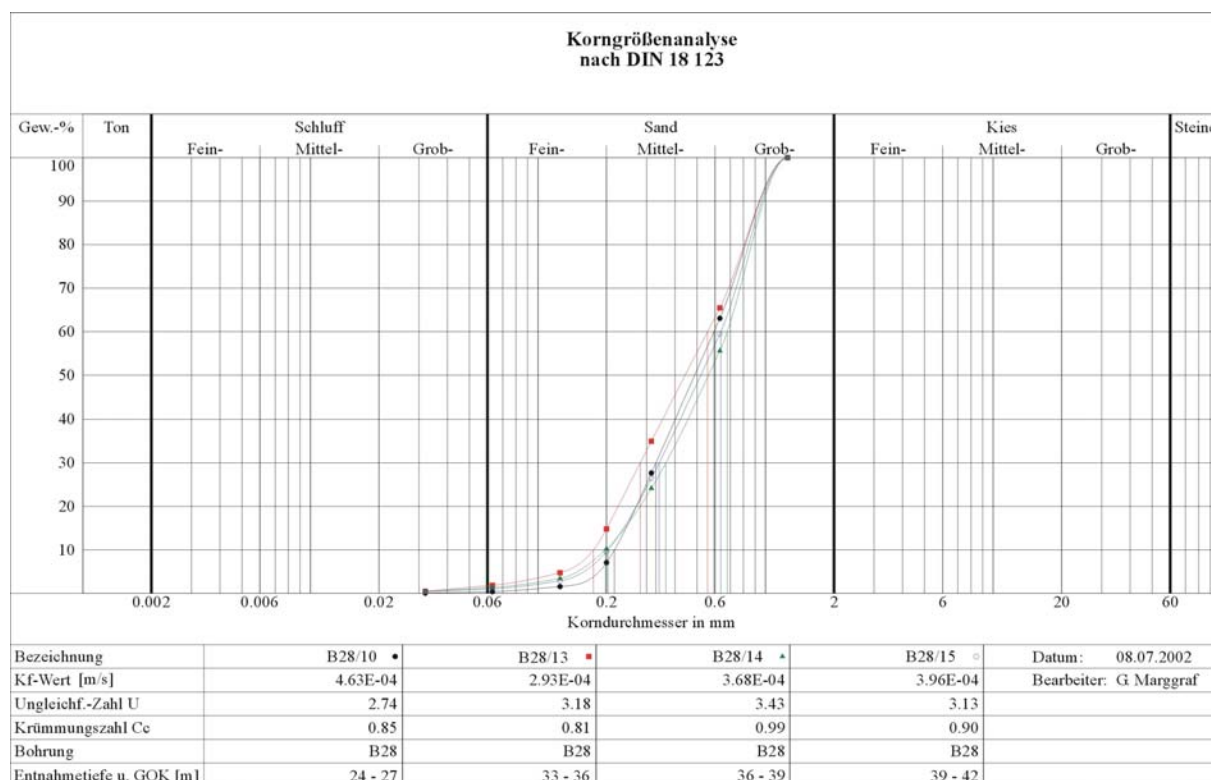


Abb. A2-12: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 24 bis 27 m u. GOK bzw. 33 bis 42 m u. GOK des Förderbrunnens B28 von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-5).

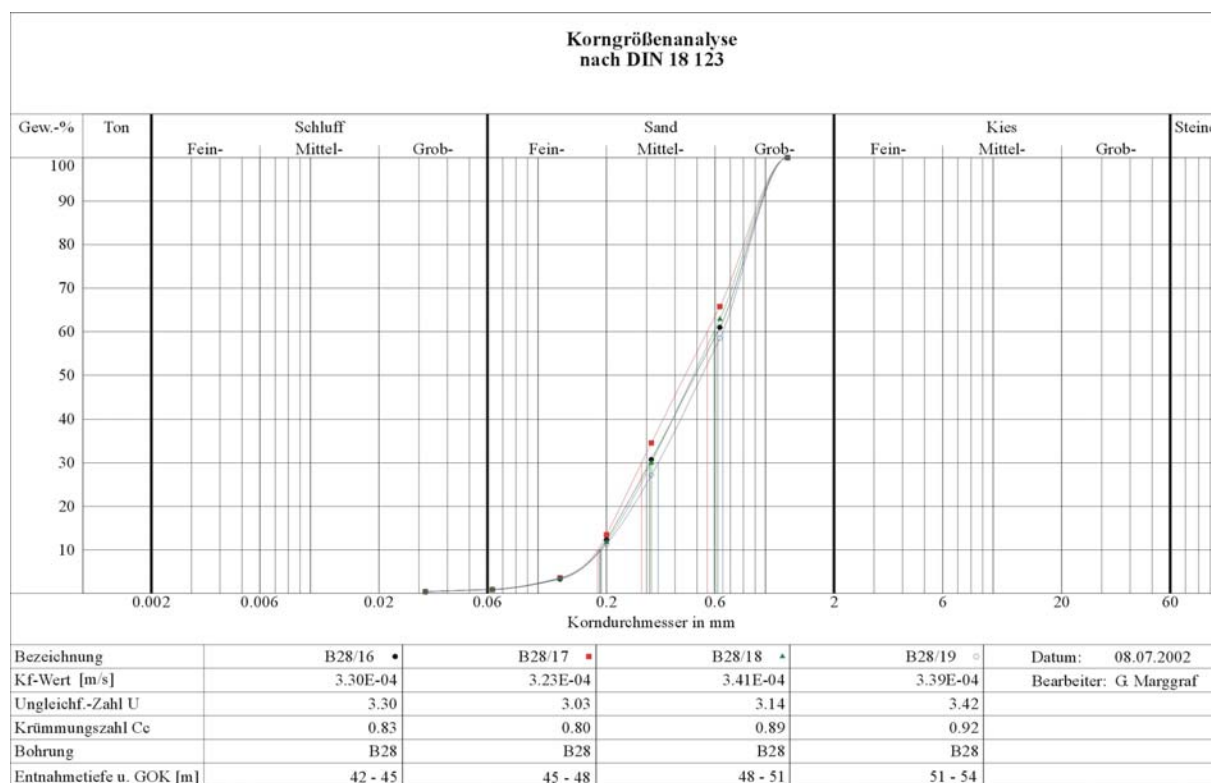


Abb. A2-13: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 42 bis 54 m u. GOK des Förderbrunnens B28 von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-5).

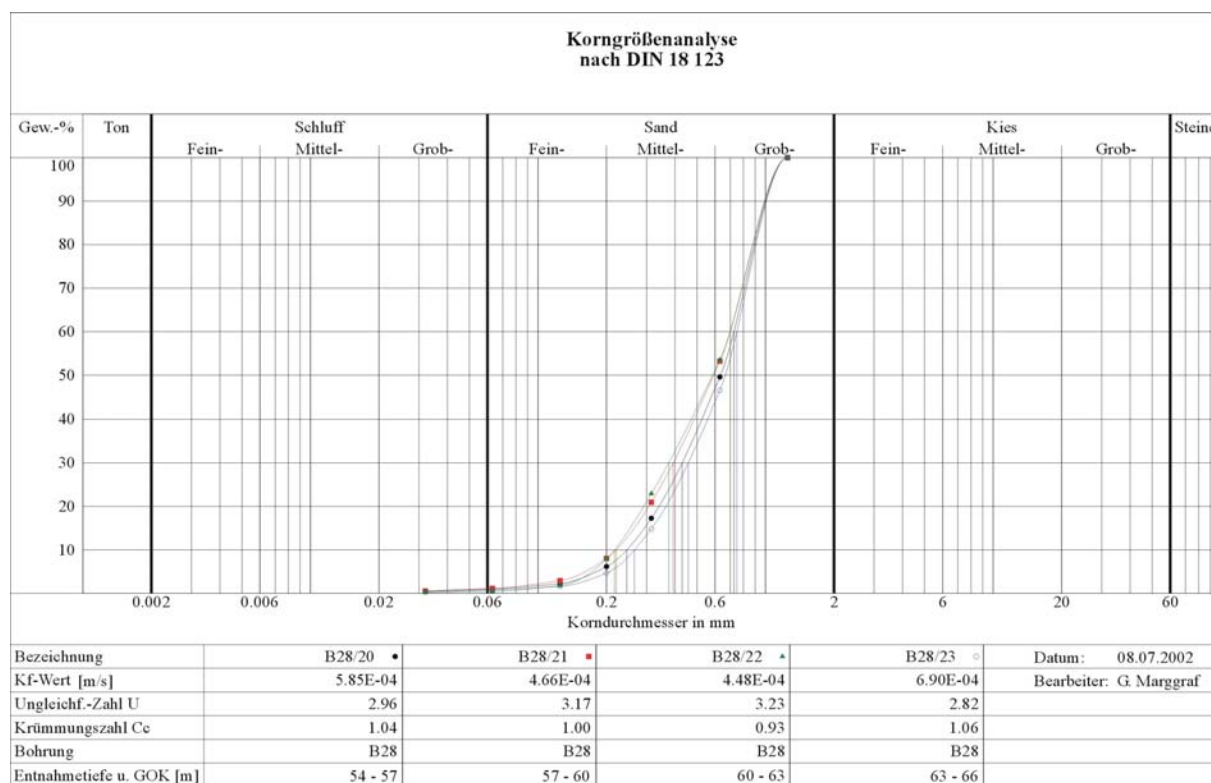


Abb. A2-14: Sieblinien der Sedimentproben aus Tiefen von 54 bis 66 m u. GOK des Förderbrunnens B28 von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-5).

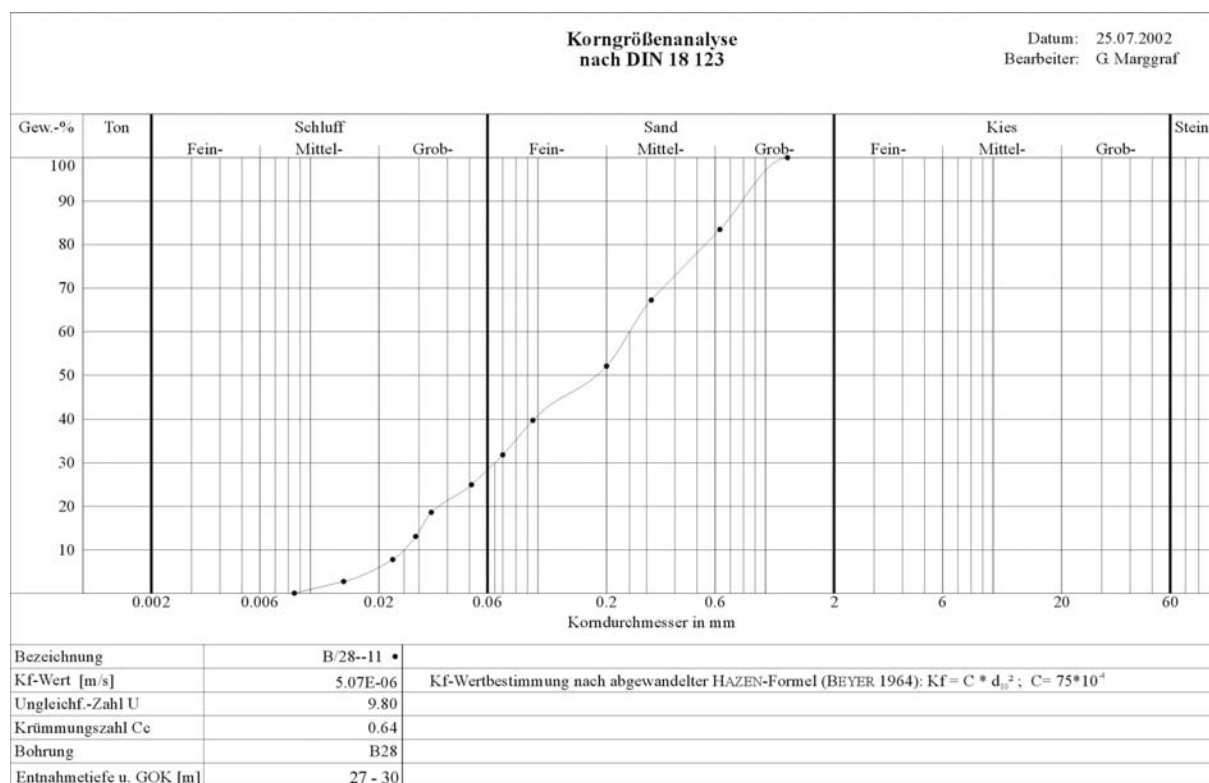


Abb. A2-15: Sieblinie der Sedimentprobe aus einer Tiefe von 27 bis 30 m u. GOK des Förderbrunnens B28 von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-5).

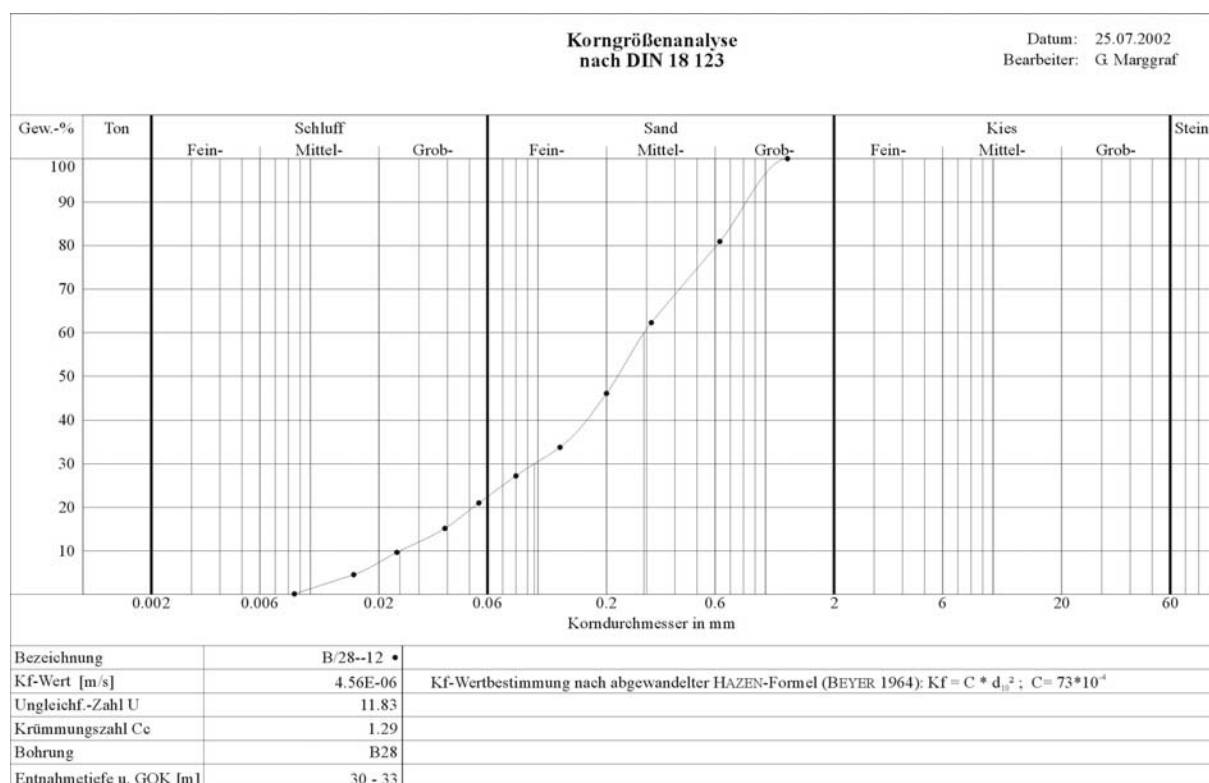


Abb. A2-16: Sieblinie der Sedimentprobe aus einer Tiefe von 30 bis 33 m u. GOK des Förderbrunnens B28 von Norderney (vgl. Kap. 5.1.2, Tab. 5-5).

# **Anhang 3**

## **RDA-Analysen**

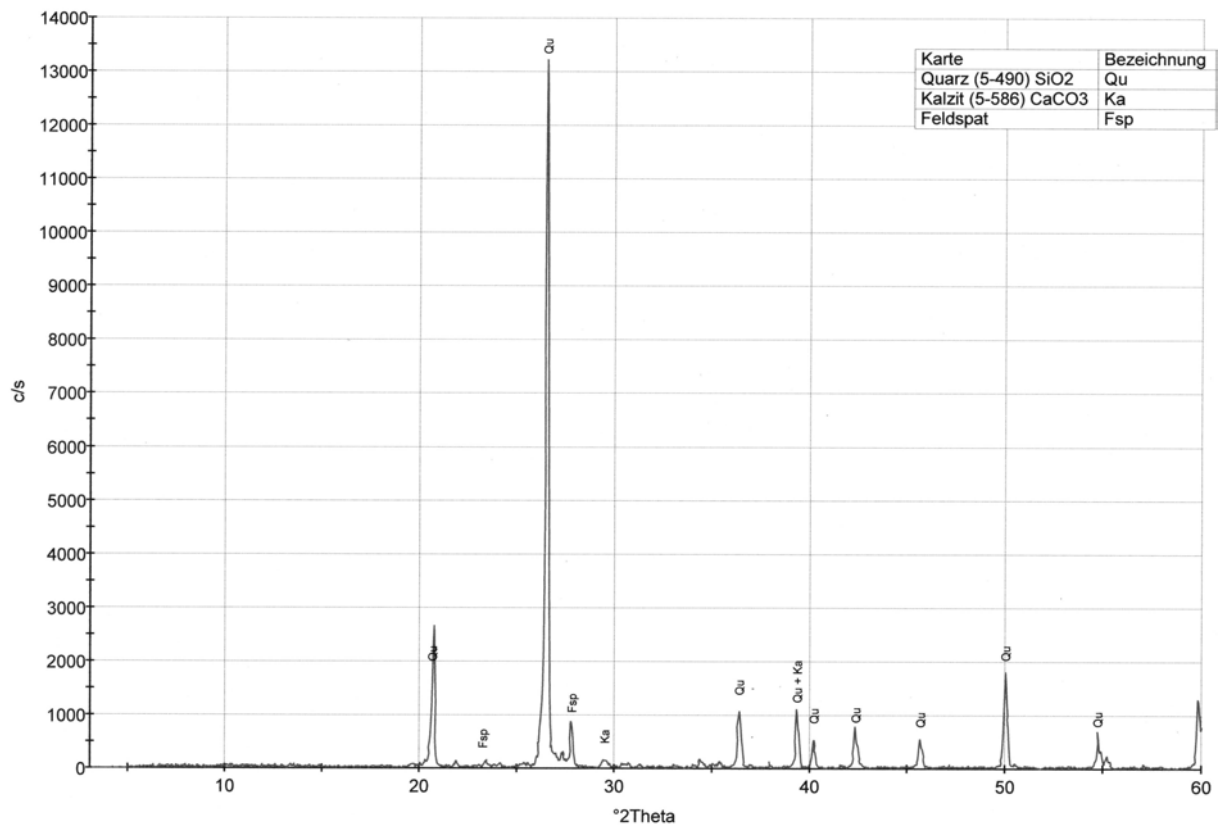


Abb. A3-1: RDA-Analyse der Sedimentprobe aus 0 – 0,07 m Tiefe der Bohrung L14 von Langeoog, Kornfraktion < 65 µm.

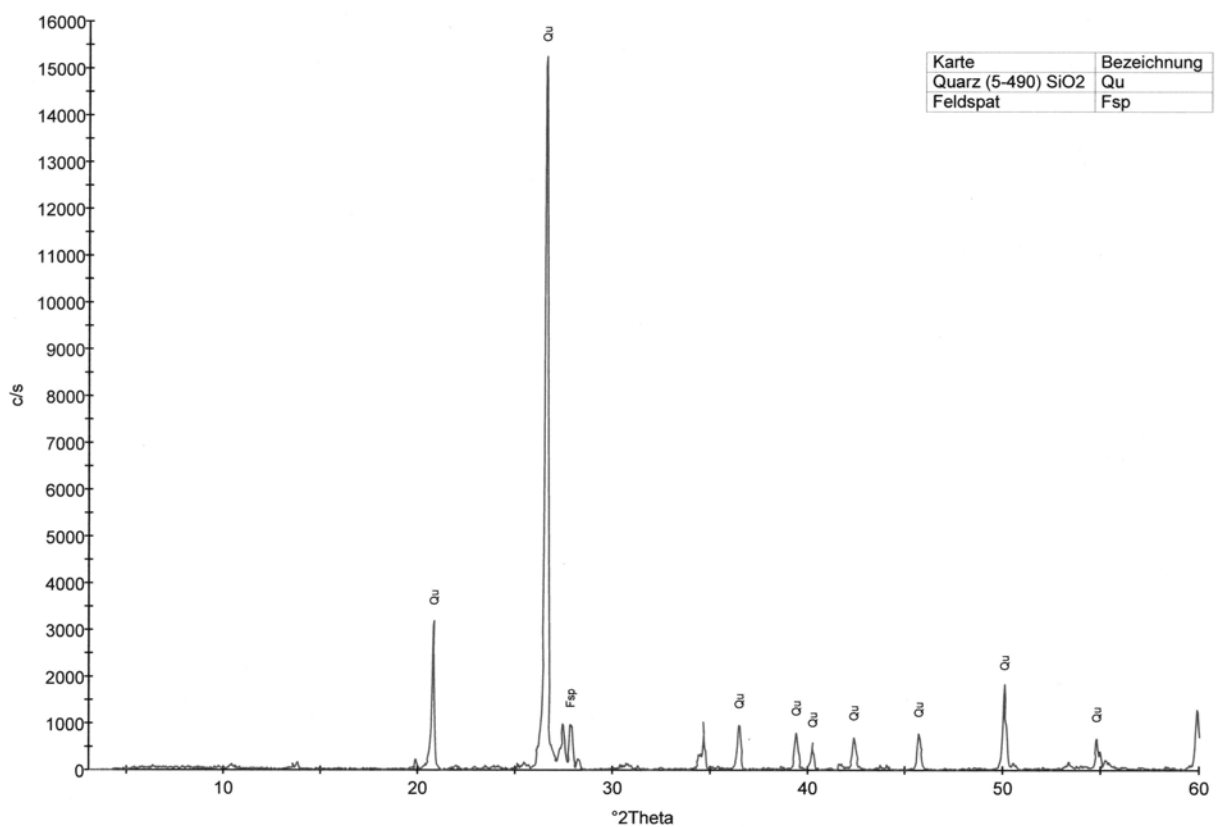


Abb. A3-2: RDA-Analyse der Sedimentprobe aus 0,07 – 0,16 m Tiefe der Bohrung L14 von Langeoog, Kornfraktion < 65 µm.

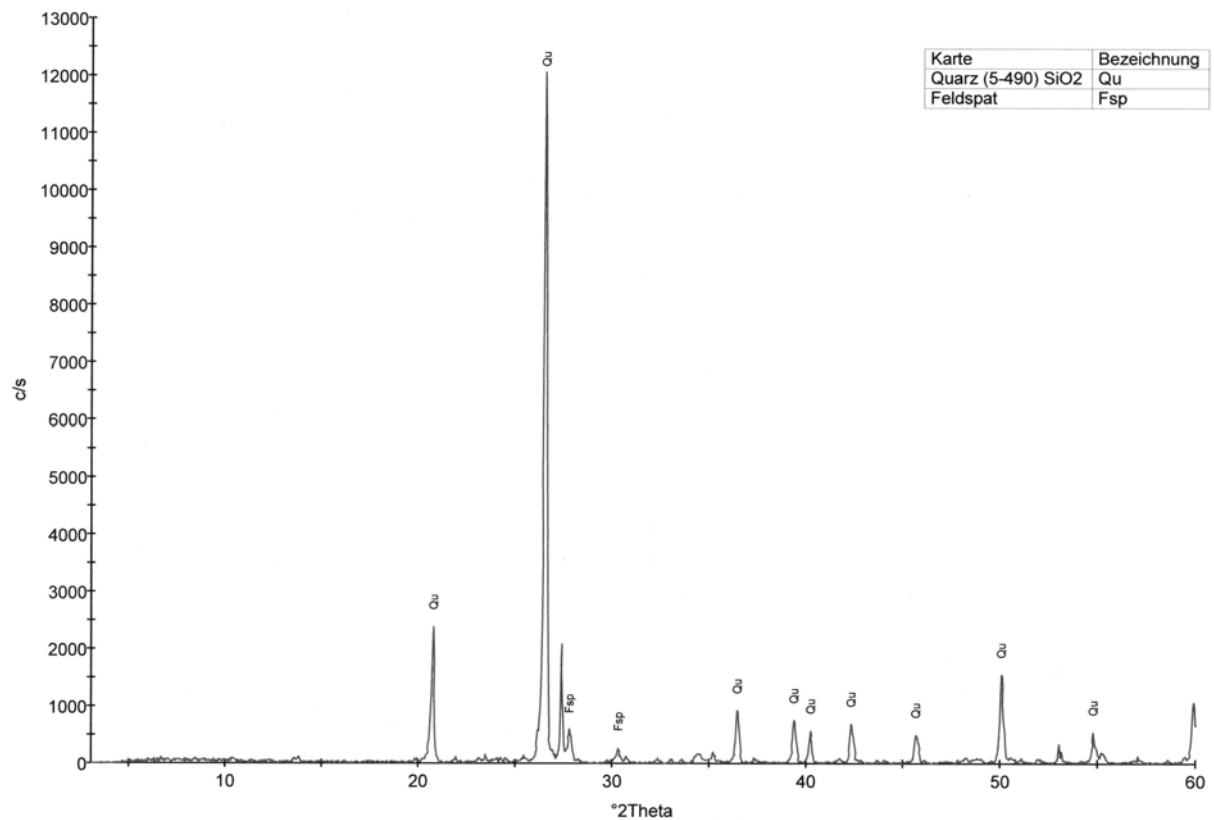


Abb. A3-3: RDA-Analyse der Sedimentprobe aus 0,70 – 0,80 m Teufe der Bohrung L14 von Langeoog, Kornfraktion < 65 µm.

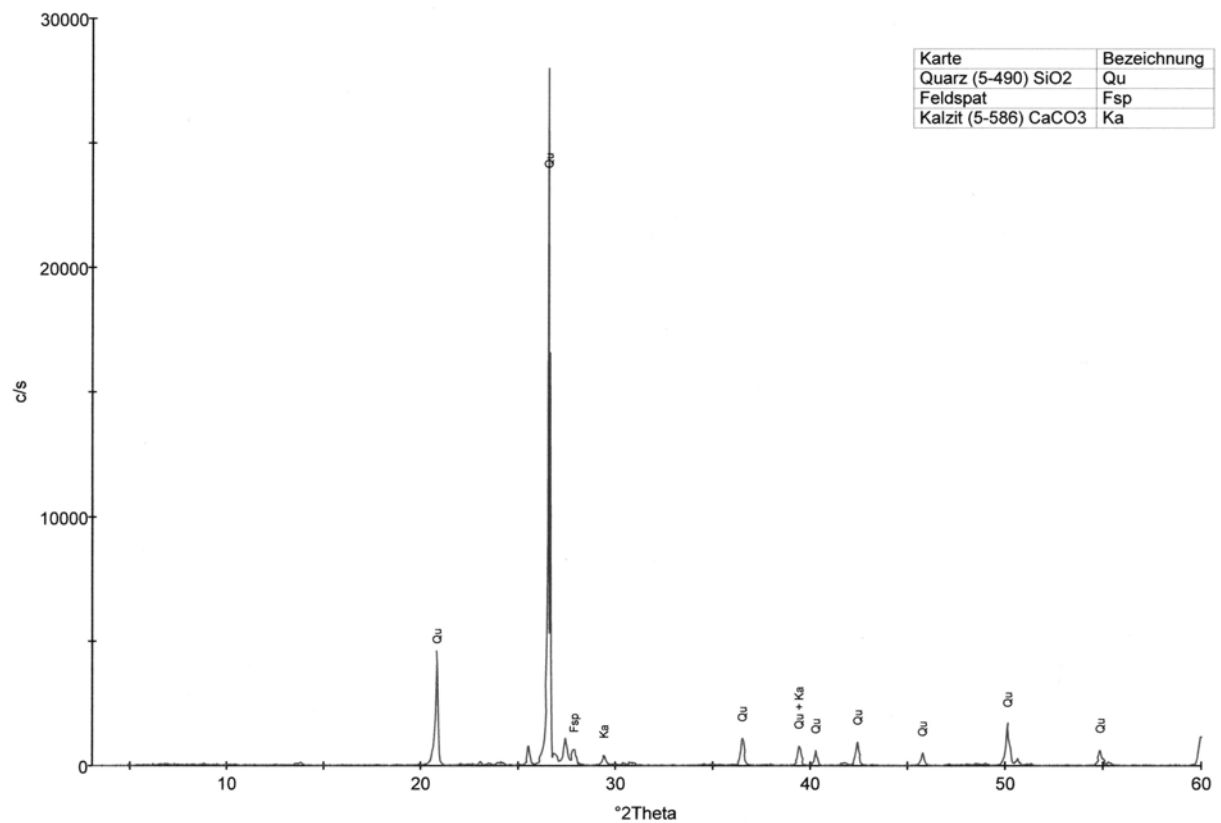


Abb. A3-4: RDA-Analyse der Sedimentprobe aus 9 – 12 m Teufe der Bohrung L130 von Langeoog, Kornfraktion < 65 µm.

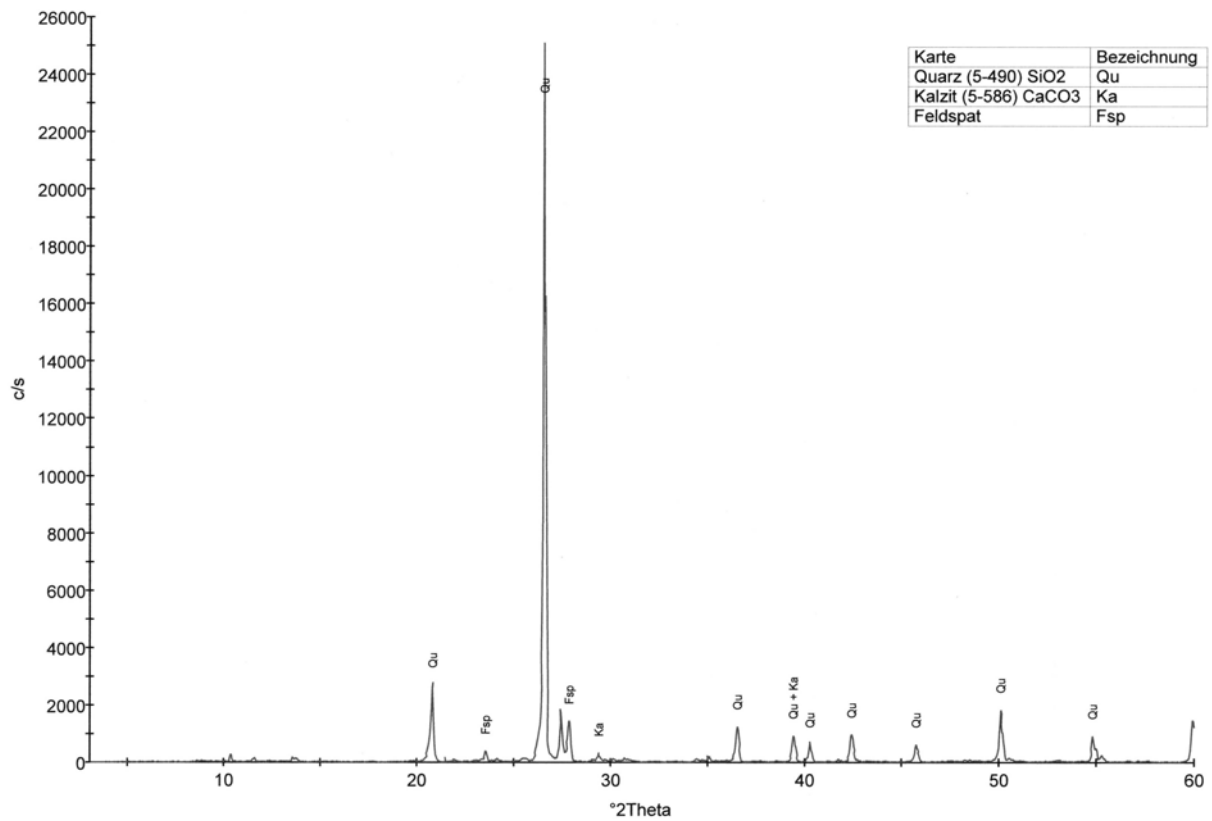


Abb. A3-5: RDA-Analyse der Sedimentprobe aus 21 – 24 m Teufe der Bohrung L130 von Langeoog, Kornfraktion < 65 µm.

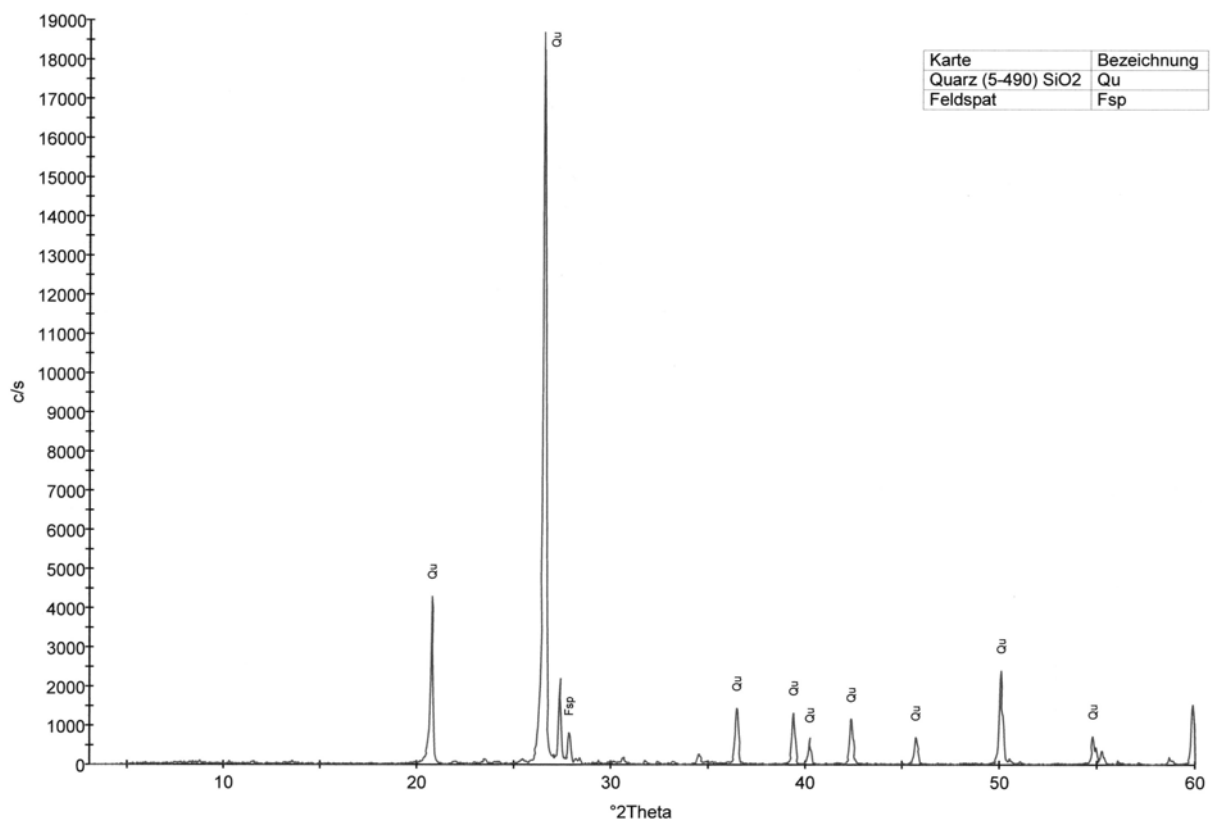


Abb. A3-6: RDA-Analyse der Sedimentprobe aus 24 – 27 m Teufe der Bohrung L130 von Langeoog, Kornfraktion < 65 µm.



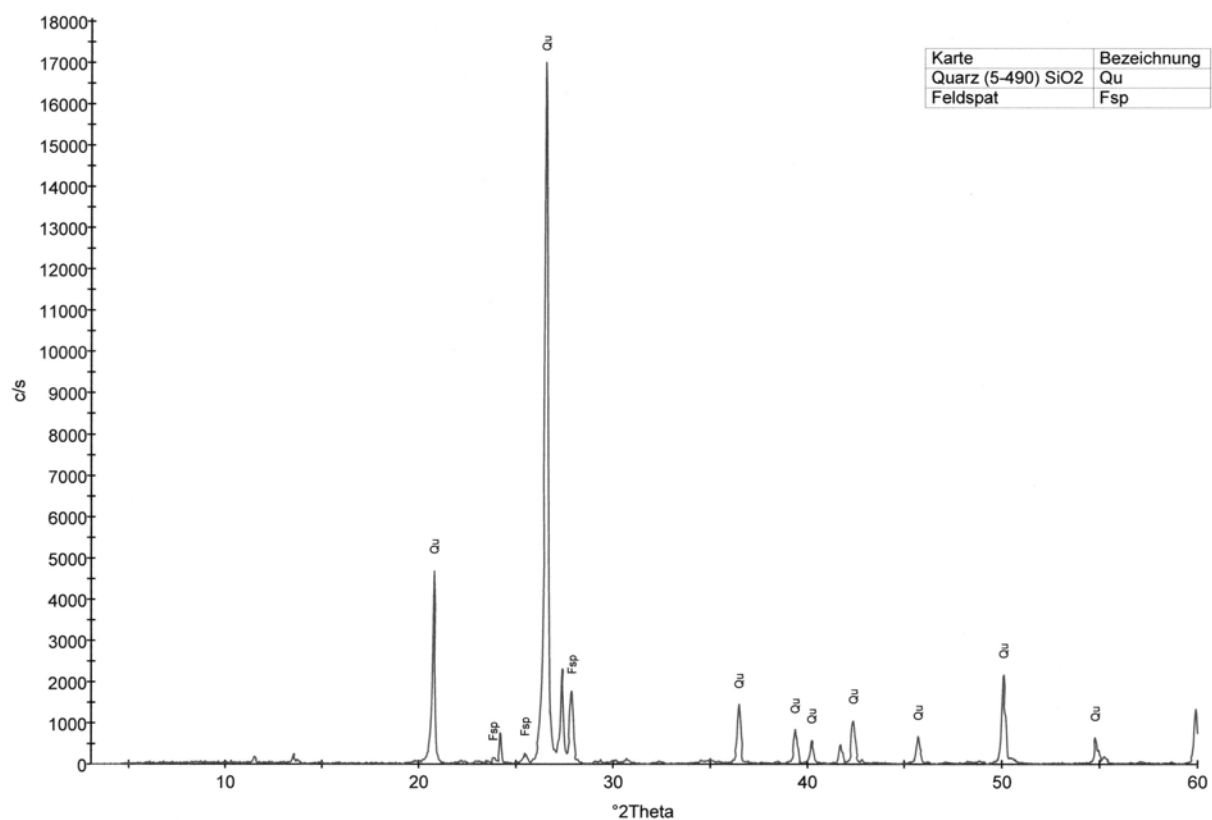


Abb. A3-7: RDA-Analyse der Sedimentprobe aus 33 – 36 m Tiefe der Bohrung L130 von Langeoog, Kornfraktion < 65 µm.

## **Anhang 4**

### **Hydrochemische Analysenergebnisse**

## **Anhang 4-1**

### **Analysenergebnisse Langeoog**

#### **Verwendete Abkürzungen:**

n.b. = nicht bestimmt

Farbe:

0 = farblos

1 = sehr leicht gelblich gefärbt

2 = leicht gelblich gefärbt

3 = deutlich gelblich gefärbt

4 = stark gelblich gefärbt

5 = sehr stark gelblichbraun gefärbt

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 100</b>		R-Wert: 2599376 H-Wert: 5959054	Endtiefe [m u. ROK]: 75 Filtertiefe [m u. GOK]: 21 - 23	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,68	1,73	2,22
Farbe		1	3	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	9,5	9,8
pH-Wert		8,6	8,4	8,3
Eh-Wert	mV	-3	-103	50
El. Leitfähigkeit	µS/cm	1123	530	577
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,30	0,80	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	3	7	0
Säurekapazität	ml	2,6	2,3	2,8
Basekapazität	ml	0	0,10	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,0	0,5	0,5
	°dH	5,6	2,8	2,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,3	6,3	7,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	158,60	137,25	170,80
pe-Wert		-0,1	-1,7	0,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	0,79	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	266,00	77,86	80,35
Fluorid	mg/l	1,05	0,76	0,25
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,01	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,70	0,35
Sulfat	mg/l	37,65	15,86	18,05
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	191,88	85,09	106,37
Kalium	mg/l	15,50	8,04	10,54
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,09
Calcium	mg/l	21,84	9,94	8,89
Magnesium	mg/l	18,90	8,57	8,81
Aluminium	mg/l	0,06	0,06	0,06
Mangan	mg/l	0,06	0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,08	0,11	0,10
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	53,20	7,30	8,10
DOC	mg/l	13,80	13,93	12,79

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 100</b>		R-Wert: 2599376 H-Wert: 5959054	Endtiefe [m u. ROK]: 75 Filtertiefe [m u. GOK]: 21 - 23	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,15	1,74	1,95
Farbe		1	0	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		fischig	kein	kein
Wassertemperatur	°C	9,7	9,5	9,5
pH-Wert		8,4	8,1	8,4
Eh-Wert	mV	-101	247	300
El. Leitfähigkeit	µS/cm	1452	836	668
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	3,6	2,9	2,6
Basekapazität	ml	0,03	0,10	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,2	0,8	0,8
	°dH	6,4	4,4	4,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,9	8,1	7,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	216,55	176,90	155,55
p <sub>e</sub> -Wert		-1,7	4,2	5,1
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	307,64	140,20	125,93
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,17	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,03	0,01
Nitrat	mg/l	0,46	0,68	< 0,40
Sulfat	mg/l	53,96	33,46	39,54
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	232,14	133,26	102,95
Kalium	mg/l	17,95	11,73	6,32
Ammonium	mg/l	0,51	0,36	0,07
Calcium	mg/l	18,34	11,90	11,78
Magnesium	mg/l	19,91	12,07	10,85
Aluminium	mg/l	0,16	0,12	0,16
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,21	0,70	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	16,30	9,10	19,80
DOC	mg/l	10,11	13,22	19,30

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 100		R-Wert: 2599376 H-Wert: 5959054	Endtiefe [m u. ROK]: 75 Filtertiefe [m u. GOK]: 21 - 23
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,00	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		leicht H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	10,3	
pH-Wert		8,5	
Eh-Wert	mV	2	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	526	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,7	
Basekapazität	ml	0	
Gesamthärte	mmol/l	0,9	
	°dH	5,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	7,4	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	161,65	
pE-Wert		0	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,20	
Chlorid	mg/l	68,26	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	24,72	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	80,52	
Kalium	mg/l	4,76	
Ammonium	mg/l	0,24	
Calcium	mg/l	7,35	
Magnesium	mg/l	7,22	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,29	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	11,70	
DOC	mg/l	13,33	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 102</b>		R-Wert: 2598863 H-Wert: 5959116	Endtiefe [m u. ROK]: 33 Filtertiefe [m u. GOK]: 18 - 22	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,77	2,70	3,26
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	kein	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,9	9,6	10,3
pH-Wert		8,3	8,1	8,1
Eh-Wert	mV	26	244	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	485	471	475
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,30	0,80	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	3	6	n.b.
Säurekapazität	ml	2,8	2,5	2,7
Basekapazität	ml	0	0,05	0,40
Gesamthärte	mmol/l	1,7	1,3	1,7
	°dH	9,5	7,2	9,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,8	7,0	7,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	170,80	152,50	164,70
p <sub>e</sub> -Wert		0,4	4,1	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	57,00	49,63	51,75
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,49	0,15
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,95	< 0,40
Sulfat	mg/l	13,00	14,57	16,75
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	36,60	28,91	29,27
Kalium	mg/l	19,40	13,41	15,51
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,17
Calcium	mg/l	28,68	21,33	22,15
Magnesium	mg/l	33,80	23,90	29,78
Aluminium	mg/l	0,05	< 0,05	0,06
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,17	0,06	0,18
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	13,30	2,70	3,40
DOC	mg/l	13,66	9,95	7,65

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 102</b>		R-Wert: 2598863 H-Wert: 5959116	Endtiefe [m u. ROK]: 33 Filtertiefe [m u. GOK]: 18 - 22	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,27	2,87	3,04
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	kein	kein
Wassertemperatur	°C	9,7	9,5	8,9
pH-Wert		8,2	7,9	8,1
Eh-Wert	mV	-30	196	321
El. Leitfähigkeit	µS/cm	483	487	462
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	3,1	2,5	2,7
Basekapazität	ml	0,03	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,7	1,6	1,5
	°dH	9,4	9,0	8,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	8,7	7,0	7,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	189,10	152,50	164,70
p <sub>e</sub> -Wert		-0,5	3,3	5,4
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	47,52	48,06	57,48
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,22	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,03	0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,82	0,58
Sulfat	mg/l	14,62	17,95	27,29
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	26,16	29,91	28,78
Kalium	mg/l	16,07	17,26	11,65
Ammonium	mg/l	0,50	0,18	0,08
Calcium	mg/l	19,79	20,43	22,14
Magnesium	mg/l	27,19	26,60	23,18
Aluminium	mg/l	0,17	0,18	0,18
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,23	0,70	0,15
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	14,30	7,00	6,30
DOC	mg/l	4,41	7,91	12,40



Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 102		R-Wert: 2598863 H-Wert: 5959116	Endtiefe [m u. ROK]: 33 Filtertiefe [m u. GOK]: 18 - 22
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	3,21	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		H <sub>2</sub> S, leicht metallisch	
Wassertemperatur	°C	10,7	
pH-Wert		8,3	
Eh-Wert	mV	-27	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	485	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,4	
Basekapazität	ml	0	
Gesamthärte	mmol/l	1,7	
	°dH	9,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	9,4	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	204,35	
pE-Wert		-0,5	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	48,23	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	15,30	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	24,02	
Kalium	mg/l	18,55	
Ammonium	mg/l	0,47	
Calcium	mg/l	17,64	
Magnesium	mg/l	27,38	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,16	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	3,80	
DOC	mg/l	34,49	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 106 oben</b>		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 12 Filtertiefe [m u. GOK]: 10,5 – 11,5	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,57	1,76	2,17
Farbe		1	0	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	10,3	11,2
pH-Wert		8,6	7,9	7,3
Eh-Wert	mV	44	7	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	426	415	408
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,30	1,80	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	3	17	n.b.
Säurekapazität	ml	2,2	2,3	2,4
Basekapazität	ml	0	0,10	0,20
Gesamthärte	mmol/l	1,0	1,5	1,3
	°dH	5,6	8,4	7,2
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	6,2	6,4	6,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	134,20	140,30	146,40
pe-Wert		0,7	0,1	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	43,36	42,32	41,10
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	0,20
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,10	< 0,01
Nitrat	mg/l	0,72	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	17,00	14,25	16,05
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	27,00	22,11	24,58
Kalium	mg/l	5,10	3,84	3,93
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,05	0,07
Calcium	mg/l	59,31	47,80	52,02
Magnesium	mg/l	9,20	6,61	7,90
Aluminium	mg/l	0,06	< 0,05	0,06
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,37	0,16	0,36
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	6,90	3,20	3,60
DOC	mg/l	8,81	9,40	7,76

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 106 oben</b>		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 12 Filtertiefe [m u. GOK]: 10,5 – 11,5	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,03	1,75	1,95
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach fischig, H <sub>2</sub> S	schwach erdig	kein
Wassertemperatur	°C	10,2	10,3	9,4
pH-Wert		8,0	7,7	7,9
Eh-Wert	mV	-13	67	186
El. Leitfähigkeit	µS/cm	420	427	422
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,8	2,3	2,5
Basekapazität	ml	0,50	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,6	1,5	1,6
	°dH	9,0	8,6	9
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,7	6,3	7,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	167,75	137,25	152,50
p <sub>e</sub> -Wert		-0,2	1,1	3,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	40,79	43,79	44,78
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,03	0,10
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,37	< 0,40
Sulfat	mg/l	18,21	20,42	21,36
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	22,24	23,10	22,20
Kalium	mg/l	3,29	4,71	3,64
Ammonium	mg/l	0,32	0,46	0,21
Calcium	mg/l	46,19	49,23	50,67
Magnesium	mg/l	7,21	7,47	7,34
Aluminium	mg/l	0,16	0,16	0,17
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	0,05
Eisen	mg/l	0,44	1,08	0,16
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	7,80	9,80	3,30
DOC	mg/l	8,00	1,98	2,50

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 106 oben		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 12 Filtertiefe [m u. GOK]: 10,5 – 11,5
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,99	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		leicht H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,3	
pH-Wert		8,1	
Eh-Wert	mV	150	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	434	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,5	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	1,8	
	°dH	11,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	7,0	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	152,50	
pE-Wert		2,5	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	46,53	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	<0,01	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	26,11	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	22,26	
Kalium	mg/l	2,65	
Ammonium	mg/l	0,18	
Calcium	mg/l	48,71	
Magnesium	mg/l	7,27	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,41	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	5,50	
DOC	mg/l	4,39	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 106 mitte</b>		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 16 Filtertiefe [m u. GOK]: 14,5 – 15,5	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,57	1,76	2,16
Farbe		1	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	10,3	11,0
pH-Wert		8,6	8,3	8,0
Eh-Wert	mV	23	-83	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	515	523	508
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,20	0,90	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	2	9	n.b.
Säurekapazität	ml	2,6	2,4	2,8
Basekapazität	ml	0,20	0	0,25
Gesamthärte	mmol/l	1,5	1,7	1,5
	°dH	8,0	9,4	6,2
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,3	6,6	7,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	158,60	143,35	170,80
p <sub>e</sub> -Wert		0,4	-1,4	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	63,29	71,88	64,50
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,56	0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	1,57	< 0,40
Sulfat	mg/l	24,24	22,54	24,95
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	46,53	38,24	40,96
Kalium	mg/l	8,00	6,58	7,38
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Calcium	mg/l	53,48	43,16	44,77
Magnesium	mg/l	14,80	12,40	13,11
Aluminium	mg/l	0,06	< 0,05	0,06
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,17	0,12	0,15
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	4,40	4,20	5,30
DOC	mg/l	10,03	10,72	7,66

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 106 mitte</b>		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 16 Filtertiefe [m u. GOK]: 14,5 – 15,5	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,99	1,75	1,96
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		fischig, H <sub>2</sub> S	schwach erdig	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,1	10,5	9,7
pH-Wert		8,1	8,2	8,1
Eh-Wert	mV	-60	33	262
El. Leitfähigkeit	µS/cm	512	500	485
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,1	2,2	2,6
Basekapazität	ml	0,03	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,7	1,6	1,5
	°dH	8,2	9,0	8,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	5,9	6,2	7,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	128,10	134,20	158,60
p <sub>e</sub> -Wert		-1,0	0,6	4,4
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	60,57	57,51	67,77
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,02	0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,21	< 0,40
Sulfat	mg/l	27,22	31,05	33,61
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	37,54	38,57	36,62
Kalium	mg/l	7,54	7,22	4,64
Ammonium	mg/l	0,26	0,16	0,23
Calcium	mg/l	41,92	40,86	40,68
Magnesium	mg/l	12,67	11,73	10,71
Aluminium	mg/l	0,16	0,22	0,16
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,19	0,70	0,13
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	6,00	2,70	7,50
DOC	mg/l	10,93	3,95	4,70

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 106 mitte		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 16 Filtertiefe [m u. GOK]: 14,5 – 15,5
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,00	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,2	
pH-Wert		8,3	
Eh-Wert	mV	-76	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	481	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,3	
Basekapazität	ml	0	
Gesamthärte	mmol/l	1,7	
	°dH	9,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	6,4	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	140,30	
pE-Wert		-1,3	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	60,47	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	0,01	
Lithium	mg/l	37,54	
Natrium	mg/l	34,28	
Kalium	mg/l	5,72	
Ammonium	mg/l	0,16	
Calcium	mg/l	38,88	
Magnesium	mg/l	10,87	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,18	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	6,50	
DOC	mg/l	5,73	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 106 unten</b>		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 30 Filtertiefe [m u. GOK]: 18,5 – 19,5	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,57	1,76	2,18
Farbe		1	3	3
Trübung		schwach	schwach	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,3	10,1	11,0
pH-Wert		7,9	8,1	7,5
Eh-Wert	mV	33	-155	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	2330	2200	2430
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,10	0,40	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	1	4	n.b.
Säurekapazität	ml	5,4	4,8	5,7
Basekapazität	ml	0,10	0,10	0,30
Gesamthärte	mmol/l	1,5	2,0	1,9
	°dH	8,4	11,0	10,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	15,1	13,4	16,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	329,40	292,80	347,70
p <sub>e</sub> -Wert		0,6	-2,6	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	2,05	1,30
Chlorid	mg/l	569,00	539,32	592,85
Fluorid	mg/l	3,58	1,27	0,30
Nitrit	mg/l	0,05	0,04	0,03
Nitrat	mg/l	0,72	1,07	< 0,40
Sulfat	mg/l	6,68	7,69	14,35
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	368,01	380,22	475,81
Kalium	mg/l	20,80	18,36	25,06
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,16	2,91
Calcium	mg/l	33,99	22,91	29,81
Magnesium	mg/l	28,10	25,29	34,76
Aluminium	mg/l	0,07	< 0,05	0,08
Mangan	mg/l	0,06	0,19	0,06
Eisen	mg/l	0,09	0,16	0,19
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	6,10	13,20	9,80
DOC	mg/l	19,10	28,11	25,51



Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 106 unten</b>		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 30 Filtertiefe [m u. GOK]: 18,5 – 19,5	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,96	1,75	1,97
Farbe		1	1	1
Trübung		klar, gasreich	klar, gasreich	klar, gasreich
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,4	10,6	9,9
pH-Wert		7,7	8,3	7,9
Eh-Wert	mV	-120	5	50
El. Leitfähigkeit	µS/cm	2880	2150	> 1914
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	5,6	4,9	5,0
Basekapazität	ml	0,20	0,15	0,05
Gesamthärte	mmol/l	2,1	1,7	1,6
	°dH	11,6	9,6	9,2
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	15,5	13,7	14,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	338,55	298,90	305,00
p <sub>e</sub> -Wert		-2,0	0,1	0,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,40	< 0,20
Chlorid	mg/l	686,23	472,31	871,22
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,03	0,16
Nitrat	mg/l	< 0,40	1,30	< 0,40
Sulfat	mg/l	13,23	53,27	45,73
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	459,65	354,06	640,69
Kalium	mg/l	23,06	22,17	18,25
Ammonium	mg/l	6,65	4,94	5,83
Calcium	mg/l	28,98	22,79	32,72
Magnesium	mg/l	36,14	24,31	33,50
Aluminium	mg/l	0,17	0,14	0,18
Mangan	mg/l	0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,18	0,62	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	14,20	4,80	8,80
DOC	mg/l	27,13	8,13	25,30

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 106 unten		R-Wert: 2598631 H-Wert: 5959242	Endtiefe [m u. ROK]: 30 Filtertiefe [m u. GOK]: 18,5 – 19,5
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,00	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		sehr stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,1	
pH-Wert		7,9	
Eh-Wert	mV	-64	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	2430	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	5,0	
Basekapazität	ml	0,10	
Gesamthärte	mmol/l	2,0	
	°dH	13,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	14,0	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	305,00	
pE-Wert		-1,1	
Labor:			
Bromid	mg/l	1,95	
Chlorid	mg/l	632,89	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	2,66	
Sulfat	mg/l	35,31	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	246,25	
Kalium	mg/l	7,85	
Ammonium	mg/l	5,80	
Calcium	mg/l	9,90	
Magnesium	mg/l	14,15	
Aluminium	mg/l	0,18	
Mangan	mg/l	0,06	
Eisen	mg/l	0,07	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	9,70	
DOC	mg/l	8,14	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 123 oben</b>		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 20 Filtertiefe [m u. GOK]: 18 - 20	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	7,54	7,34	7,63
Farbe		0	0	1
Trübung		sehr schwach	sehr schwach	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,6	9,5	10,2
pH-Wert		8,0	8,1	8,0
Eh-Wert	mV	62	-159	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	771	800	771
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,40	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	0	n.b.
Säurekapazität	ml	2,8	3,2	3,7
Basekapazität	ml	0,25	0,05	0,10
Gesamthärte	mmol/l	3,3	2,8	2,7
	°dH	18,2	15,6	14,3
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,7	8,8	10,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	170,80	192,15	225,70
p <sub>e</sub> -Wert		1,1	-2,7	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	94,83	88,47	85,75
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,02	< 0,01
Nitrat	mg/l	0,66	0,58	< 0,40
Sulfat	mg/l	123,89	106,86	89,45
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	52,90	47,97	54,29
Kalium	mg/l	5,20	3,68	5,29
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,11	0,07
Calcium	mg/l	101,95	89,21	89,87
Magnesium	mg/l	21,50	18,21	17,90
Aluminium	mg/l	0,06	< 0,05	0,06
Mangan	mg/l	< 0,05	0,11	< 0,05
Eisen	mg/l	0,32	0,24	0,16
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	12,80	11,90	10,40
DOC	mg/l	13,42	11,91	14,91

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 123 oben</b>		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 20 Filtertiefe [m u. GOK]: 18 - 20	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	7,68	7,57	7,50
Farbe		0	1	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,5	9,4	8,8
pH-Wert		8,0	7,9	8,0
Eh-Wert	mV	-84	31	120
El. Leitfähigkeit	µS/cm	770	633	665
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,8	2,9	2,7
Basekapazität	ml	0,03	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	2,9	2,2	2,4
	°dH	16,4	12,4	13
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,8	8,1	7,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	170,80	176,90	164,70
p <sub>e</sub> -Wert		-1,4	0,5	2,0
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	83,04	64,98	79,62
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,02	0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	105,47	69,68	89,15
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	48,24	45,75	45,57
Kalium	mg/l	4,61	4,07	3,01
Ammonium	mg/l	0,56	1,81	0,40
Calcium	mg/l	76,69	65,93	70,47
Magnesium	mg/l	17,09	13,03	11,70
Aluminium	mg/l	0,18	0,17	0,18
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,25	0,98	0,21
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	13,20	12,20	31,30
DOC	mg/l	12,23	11,72	12,40

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 123 oben		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 20 Filtertiefe [m u. GOK]: 18 - 20
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	7,61	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,0	
pH-Wert		8,2	
Eh-Wert	mV	-81	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	751	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,2	
Basekapazität	ml	0,10	
Gesamthärte	mmol/l	2,7	
	°dH	17,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	9,0	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	195,20	
pE-Wert		-1,4	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,25	
Chlorid	mg/l	90,46	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	140,94	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	46,66	
Kalium	mg/l	2,56	
Ammonium	mg/l	0,34	
Calcium	mg/l	76,14	
Magnesium	mg/l	16,48	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,10	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	10,80	
DOC	mg/l	8,20	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 123 mitte</b>		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 29 Filtertiefe [m u. GOK]: 26 - 28	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	7,47	7,48	7,78
Farbe		0	0	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	9,6	10,1
pH-Wert		7,4	7,8	7,9
Eh-Wert	mV	34	-77	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	529	534	524
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,50	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	5	0	n.b.
Säurekapazität	ml	2,3	2,1	2,4
Basekapazität	ml	0,25	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,7	1,7	1,7
	°dH	9,4	9,4	9,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	6,4	5,9	6,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	140,30	128,10	146,40
pe-Wert		0,6	-1,3	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	62,67	59,99	60,65
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	0,40
Sulfat	mg/l	55,00	53,78	64,40
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	35,95	34,94	38,55
Kalium	mg/l	7,60	7,26	9,05
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,09	< 0,03
Calcium	mg/l	38,84	33,60	37,38
Magnesium	mg/l	19,40	20,64	23,26
Aluminium	mg/l	0,06	< 0,05	0,06
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,08	0,08	0,07
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	5,40	10,40	7,90
DOC	mg/l	16,52	11,77	10,49

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 123 mitte</b>		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 29 Filtertiefe [m u. GOK]: 26 - 28	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	7,66	7,56	7,60
Farbe		1	0	0
Trübung		schwach trüb	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	schwach erdig	kein
Wassertemperatur	°C	9,4	9,4	9,1
pH-Wert		8,1	7,5	7,9
Eh-Wert	mV	-79	81	288
El. Leitfähigkeit	µS/cm	536	537	522
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	1,8	2,1	2,7
Basekapazität	ml	0,05	0,10	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,7	1,8	1,9
	°dH	9,2	9,8	10,3
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	5,0	5,9	5,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	109,80	128,10	115,90
p <sub>e</sub> -Wert		-1,3	1,4	4,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	58,46	55,68	59,60
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,03	0,02	0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	66,90	78,81	77,22
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	33,79	34,49	32,54
Kalium	mg/l	6,36	6,81	4,92
Ammonium	mg/l	0,32	0,14	0,17
Calcium	mg/l	34,32	36,38	39,17
Magnesium	mg/l	20,26	21,08	19,47
Aluminium	mg/l	0,17	0,17	0,17
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,36	1,05	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	8,50	7,40	8,40
DOC	mg/l	10,08	2,64	6,40

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 123 mitte		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 29 Filtertiefe [m u. GOK]: 26 - 28
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	7,78	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		kein	
Wassertemperatur	°C	10,4	
pH-Wert		8,2	
Eh-Wert	mV	19	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	539	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,1	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	1,9	
	°dH	11,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	5,9	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	128,10	
pE-Wert		0,3	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,32	
Chlorid	mg/l	61,18	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	0,46	
Sulfat	mg/l	91,86	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	31,14	
Kalium	mg/l	3,95	
Ammonium	mg/l	0,09	
Calcium	mg/l	37,89	
Magnesium	mg/l	17,99	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,05	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	8,60	
DOC	mg/l	6,40	



Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 123 unten</b>		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 42 Filtertiefe [m u. GOK]: 39 - 41	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	7,36	7,65	7,96
Farbe		1	1	2
Trübung		sehr schwach	sehr schwach	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,5	9,7	10,1
pH-Wert		7,3	7,6	7,6
Eh-Wert	mV	111	-61	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	504	506	501
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,20	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	1	0	n.b.
Säurekapazität	ml	3,2	3,3	3,2
Basekapazität	ml	0,30	0,15	0,15
Gesamthärte	mmol/l	0,6	0,5	0,8
	°dH	3,4	2,6	4,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,0	9,2	9,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	195,20	201,30	195,20
p <sub>e</sub> -Wert		1,9	-1,0	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	57,02	57,96	56,65
Fluorid	mg/l	1,46	0,68	0,45
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,02	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,72	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	95,43	83,94	93,00
Kalium	mg/l	8,30	7,44	9,62
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,69	0,58
Calcium	mg/l	17,26	10,81	11,49
Magnesium	mg/l	8,90	7,05	8,11
Aluminium	mg/l	0,06	< 0,05	0,07
Mangan	mg/l	0,07	0,08	0,06
Eisen	mg/l	0,57	0,38	0,53
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	< 1,00	5,20	3,10
DOC	mg/l	13,79	12,14	11,10

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 123 unten</b>		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 42 Filtertiefe [m u. GOK]: 39 - 41	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	7,66	7,51	7,68
Farbe		0	1	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S	erdig
Wassertemperatur	°C	9,5	9,3	9,0
pH-Wert		7,7	7,4	7,5
Eh-Wert	mV	-49	62	230
El. Leitfähigkeit	µS/cm	510	505	487
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	3,0	3,1	3,2
Basekapazität	ml	0,15	0,15	0,10
Gesamthärte	mmol/l	0,5	0,6	0,6
	°dH	3,0	3,4	3,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	8,4	8,5	9,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	183,00	186,05	195,20
pe-Wert		-0,8	1,1	3,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	65,19	53,70	54,56
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,29	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,03	0,03	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	5,00	< 2,00	< 2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	81,75	84,06	80,24
Kalium	mg/l	6,76	8,00	4,11
Ammonium	mg/l	1,04	0,84	0,97
Calcium	mg/l	10,13	11,48	11,07
Magnesium	mg/l	6,82	7,34	6,20
Aluminium	mg/l	0,18	0,18	0,17
Mangan	mg/l	0,08	0,08	< 0,05
Eisen	mg/l	0,52	1,32	0,40
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	1,80	0,30	5,00
DOC	mg/l	11,97	3,73	9,70

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 123 unten		R-Wert: 2598170 H-Wert: 5959172	Endtiefe [m u. ROK]: 42 Filtertiefe [m u. GOK]: 39 - 41
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	8,02	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		leicht pilzig	
Wassertemperatur	°C	10,4	
pH-Wert		7,6	
Eh-Wert	mV	-20	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	498	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,3	
Basekapazität	ml	0,15	
Gesamthärte	mmol/l	1,7	
	°dH	9,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	9,2	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	201,30	
pE-Wert		-0,3	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	55,57	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,03	
Nitrat	mg/l	0,45	
Sulfat	mg/l	2,02	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	75,29	
Kalium	mg/l	4,64	
Ammonium	mg/l	0,85	
Calcium	mg/l	10,25	
Magnesium	mg/l	6,76	
Aluminium	mg/l	0,20	
Mangan	mg/l	0,06	
Eisen	mg/l	0,58	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	7,10	
DOC	mg/l	6,58	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 127 oben</b>		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5959728	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 9 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,61	1,72	1,83
Farbe		3	3	3
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	leicht H <sub>2</sub> S	kein
Wassertemperatur	°C	11,1	11,3	12,0
pH-Wert		7,6	7,6	7,6
Eh-Wert	mV	208	-75	n.b.
El. Leitfähigkeit	µS/cm	935	925	910
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	n.b.
Säurekapazität	ml	4,0	3,7	3,8
Basekapazität	ml	0,25	0,20	0,20
Gesamthärte	mmol/l	2,5	2,1	2,8
	°dH	14,0	11,4	15,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	11,2	10,2	10,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	244,00	222,65	231,80
pe-Wert		3,5	-1,3	n.b.
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,32	0,20
Chlorid	mg/l	130,00	123,18	118,97
Fluorid	mg/l	1,02	0,26	0,30
Nitrit	mg/l	0,01	0,01	0,03
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,46	< 0,40
Sulfat	mg/l	57,00	57,13	67,57
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	77,67	62,47	83,06
Kalium	mg/l	27,30	20,20	20,96
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,39	3,40
Calcium	mg/l	89,34	75,52	86,45
Magnesium	mg/l	16,70	16,80	20,59
Aluminium	mg/l	0,05	< 0,05	0,07
Mangan	mg/l	0,14	0,09	0,13
Eisen	mg/l	1,24	0,65	0,85
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	9,89
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	7,62
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	137,00
Blei	µg/l	n.b.	n.b.	11,40
AOX	µg/l	17,50	13,50	18,80
DOC	mg/l	29,00	25,39	23,94

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 127 oben</b>		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5959728	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 9 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,91	1,66	1,70
Farbe		2	3	3
Trübung		schwach trüb	klar	klar
Geruch		schwach fischig, H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S	kein
Wassertemperatur	°C	11,2	11,4	10,4
pH-Wert		7,7	7,5	7,5
Eh-Wert	mV	-66	52	333
El. Leitfähigkeit	µS/cm	919	906	865
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	3,5	3,8	3,6
Basekapazität	ml	0,20	0,15	0,15
Gesamthärte	mmol/l	2,3	2,6	2,4
	°dH	12,6	14,4	13,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,8	10,6	10,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	213,50	231,80	219,60
p <sub>e</sub> -Wert		-1,1	0,9	5,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,31	< 0,20
Chlorid	mg/l	116,80	116,27	117,10
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,10	0,04	0,18
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,63	< 0,40
Sulfat	mg/l	69,74	67,54	69,58
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	74,58	80,27	75,13
Kalium	mg/l	21,04	24,85	19,45
Ammonium	mg/l	4,87	5,43	7,32
Calcium	mg/l	68,95	71,45	69,69
Magnesium	mg/l	14,86	14,12	13,89
Aluminium	mg/l	0,19	0,17	0,16
Mangan	mg/l	0,14	0,13	0,12
Eisen	mg/l	1,53	2,40	0,72
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Blei	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	28,20	19,70	26,90
DOC	mg/l	23,21	18,95	27,50

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 127 oben		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5959728	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 9 - 10
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	7,61	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		leicht H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,7	
pH-Wert		7,8	
Eh-Wert	mV	430	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	912	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,6	
Basekapazität	ml	0,15	
Gesamthärte	mmol/l	2,7	
	°dH	15,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	10,1	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	219,60	
pE-Wert		7,3	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,45	
Chlorid	mg/l	121,06	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,03	
Nitrat	mg/l	2,05	
Sulfat	mg/l	104,06	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	66,21	
Kalium	mg/l	15,33	
Ammonium	mg/l	6,10	
Calcium	mg/l	73,79	
Magnesium	mg/l	16,27	
Aluminium	mg/l	0,21	
Mangan	mg/l	0,17	
Eisen	mg/l	0,98	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Blei	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	20,00	
DOC	mg/l	21,12	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 127 mitte</b>		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5958728	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 15 - 21	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,68	1,72	1,84
Farbe		0	0	2
Trübung		klar	leicht	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	kein	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	11,1	11,2	12,0
pH-Wert		8,1	8,2	7,9
Eh-Wert	mV	206	-102	378
El. Leitfähigkeit	µS/cm	635	625	607
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	n.b.
Säurekapazität	ml	2,6	2,5	2,2
Basekapazität	ml	0,05	0,03	0,15
Gesamthärte	mmol/l	2,1	2,0	1,9
	°dH	12,0	11,0	10,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,1	7,0	6,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	158,60	152,50	134,20
p <sub>e</sub> -Wert		3,5	-1,7	6,4
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	70,00	66,95	65,25
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	0,20
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,12	0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,89	< 0,40
Sulfat	mg/l	77,00	66,81	76,95
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	46,12	39,86	42,25
Kalium	mg/l	9,80	8,80	8,64
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,28	0,34
Calcium	mg/l	65,11	53,43	55,28
Magnesium	mg/l	23,50	20,00	22,10
Aluminium	mg/l	0,05	0,08	0,06
Mangan	mg/l	0,06	0,43	< 0,05
Eisen	mg/l	0,28	0,57	0,22
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	8,60	4,70	11,60
DOC	mg/l	27,80	13,89	13,18

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 127 mitte</b>		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5958728	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 15 - 21	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,86	1,66	1,70
Farbe		0	1	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	sehr schwach H <sub>2</sub> S	kein
Wassertemperatur	°C	11,0	11,6	10,7
pH-Wert		8,2	7,9	7,9
Eh-Wert	mV	-88	75	363
El. Leitfähigkeit	µS/cm	619	612	601
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,2	2,3	2,5
Basekapazität	ml	0	0,05	0,10
Gesamthärte	mmol/l	2,0	2,5	2,1
	°dH	11,0	13,8	11,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	6,2	6,4	7,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	134,20	140,30	152,50
p <sub>e</sub> -Wert		-1,5	1,3	6,1
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,41	< 0,20
Chlorid	mg/l	61,50	61,01	63,71
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,09	0,03	0,03
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,80	1,34
Sulfat	mg/l	83,95	95,47	96,80
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	38,55	38,27	37,21
Kalium	mg/l	8,79	7,65	6,77
Ammonium	mg/l	0,75	0,25	0,32
Calcium	mg/l	49,20	51,85	52,02
Magnesium	mg/l	19,06	19,54	17,80
Aluminium	mg/l	0,19	0,24	0,17
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,37	0,67	0,09
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	7,20	7,60	8,70
DOC	mg/l	11,71	7,23	6,50



Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 127 mitte		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5958728	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 15 - 21
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,95	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		leicht H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,3	
pH-Wert		8,4	
Eh-Wert	mV	-42	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	605	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,5	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	2,2	
	°dH	12,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	6,9	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	149,45	
pE-Wert		-0,7	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,45	
Chlorid	mg/l	121,06	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,03	
Nitrat	mg/l	2,05	
Sulfat	mg/l	104,06	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	35,30	
Kalium	mg/l	6,54	
Ammonium	mg/l	0,63	
Calcium	mg/l	49,31	
Magnesium	mg/l	18,42	
Aluminium	mg/l	0,20	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,30	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	7,30	
DOC	mg/l	7,57	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 127 unten</b>		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5958728	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 21 - 23	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,72	1,82	1,98
Farbe		0	1	3
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	11,1	10,8	11,5
pH-Wert		7,3	7,7	7,7
Eh-Wert	mV	208	-60	390
El. Leitfähigkeit	µS/cm	460	467	466
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,30	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	3	0	n.b.
Säurekapazität	ml	2,0	2,2	2,2
Basekapazität	ml	0,20	0,10	0,15
Gesamthärte	mmol/l	0,9	1,0	0,8
	°dH	5,0	5,4	4,3
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	5,6	6,2	6,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	122,00	134,20	134,20
p <sub>e</sub> -Wert		3,5	-1,0	6,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,21	< 0,20
Chlorid	mg/l	78,67	69,13	68,15
Fluorid	mg/l	3,22	0,51	0,40
Nitrit	mg/l	0,07	0,03	0,06
Nitrat	mg/l	0,98	0,90	< 0,40
Sulfat	mg/l	5,56	2,80	5,90
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	55,35	45,42	53,11
Kalium	mg/l	17,30	14,51	17,88
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,45	0,45
Calcium	mg/l	14,29	8,71	9,15
Magnesium	mg/l	21,50	17,71	19,68
Aluminium	mg/l	< 0,05	< 0,05	0,07
Mangan	mg/l	< 0,05	0,09	0,07
Eisen	mg/l	0,20	0,79	0,93
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	7,60	5,50	8,60
DOC	mg/l	12,85	13,62	13,98

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 127 unten</b>		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5958728	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 21 - 23	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,88	1,71	1,79
Farbe		1	1	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	schwach erdig	schwach erdig
Wassertemperatur	°C	10,7	11,8	10,7
pH-Wert		7,9	7,6	7,7
Eh-Wert	mV	-85	67	374
El. Leitfähigkeit	µS/cm	965	458	459
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,1	2,0	2,5
Basekapazität	ml	0,10	0,05	0,15
Gesamthärte	mmol/l	1,2	1,2	1,0
	°dH	6,4	6,5	5,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	5,7	5,5	7,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	125,05	118,95	152,50
pe-Wert		-1,4	1,1	6,3
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	64,66	63,05	67,37
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,44	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,03	0,03	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,82	2,51
Sulfat	mg/l	8,88	6,51	6,37
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	46,07	46,01	44,04
Kalium	mg/l	14,89	14,62	12,71
Ammonium	mg/l	1,01	0,43	0,20
Calcium	mg/l	9,83	8,36	9,50
Magnesium	mg/l	18,07	18,50	16,47
Aluminium	mg/l	0,17	0,18	0,18
Mangan	mg/l	0,06	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,83	1,74	0,53
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	8,10	3,70	12,70
DOC	mg/l	10,24	8,44	7,50

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 127 unten		R-Wert: 2598253 H-Wert: 5958728	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 21 - 23
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,02	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		kein	
Wassertemperatur	°C	11,4	
pH-Wert		7,8	
Eh-Wert	mV	100	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	460	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,2	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	1,1	
	°dH	6,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	6,2	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	134,20	
pE-Wert		1,7	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,42	
Chlorid	mg/l	68,18	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,06	
Nitrat	mg/l	0,77	
Sulfat	mg/l	5,94	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	43,53	
Kalium	mg/l	12,69	
Ammonium	mg/l	0,87	
Calcium	mg/l	6,59	
Magnesium	mg/l	16,76	
Aluminium	mg/l	0,20	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,60	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	8,20	
DOC	mg/l	8,06	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 128 oben</b>		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: 14 Filtertiefe [m u. GOK]: 12 - 14	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,04	3,19	3,34
Farbe		1	3	3
Trübung		leicht	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	kein
Wassertemperatur	°C	9,8	9,8	10,6
pH-Wert		7,6	7,8	7,7
Eh-Wert	mV	163	78	308
El. Leitfähigkeit	µS/cm	450	602	548
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,40	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	0	n.b.
Säurekapazität	ml	2,5	3,7	3,3
Basekapazität	ml	0,05	0,10	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,5	1,4	1,5
	°dH	8,4	7,6	8,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,0	10,4	9,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	152,50	225,70	201,30
p <sub>e</sub> -Wert		2,8	1,3	5,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	45,40	44,72	44,70
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,39	0,25
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,03	0,01
Nitrat	mg/l	0,45	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	15,78	54,07	42,25
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	38,91	76,42	71,06
Kalium	mg/l	3,40	3,40	3,98
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,43	0,18
Calcium	mg/l	45,65	45,78	46,64
Magnesium	mg/l	8,50	7,60	8,80
Aluminium	mg/l	0,06	0,06	0,06
Mangan	mg/l	0,10	0,15	0,11
Eisen	mg/l	0,37	0,66	0,45
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	35,30	35,36	24,20
DOC	mg/l	19,72	18,17	17,30

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 128 oben</b>		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: 14 Filtertiefe [m u. GOK]: 12 - 14	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,51	3,29	3,29
Farbe		2	2	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		sehr schwach H <sub>2</sub> S	kein	kein
Wassertemperatur	°C	10,0	9,9	9,4
pH-Wert		7,6	7,4	7,6
Eh-Wert	mV	167	122	368
El. Leitfähigkeit	µS/cm	442	421	420
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,7	2,6	2,6
Basekapazität	ml	0,20	0,15	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,3	1,6	1,4
	°dH	7,2	9,0	8,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,4	7,3	7,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	161,65	158,60	158,60
p <sub>e</sub> -Wert		2,8	2,1	6,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,2
Chlorid	mg/l	42,03	39,59	38,88
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,05	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	0,68	1,56
Sulfat	mg/l	15,97	15,22	14,25
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	39,20	33,09	29,61
Kalium	mg/l	4,52	3,22	2,58
Ammonium	mg/l	0,83	0,47	0,30
Calcium	mg/l	38,91	42,06	44,44
Magnesium	mg/l	7,33	7,40	7,93
Aluminium	mg/l	0,19	0,19	0,18
Mangan	mg/l	0,08	< 0,05	0,09
Eisen	mg/l	0,47	1,95	0,54
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	35,60	20,20	24,10
DOC	mg/l	16,20	12,24	14,20

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 128 oben		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: 14 Filtertiefe [m u. GOK]: 12 - 14
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	3,40	
Farbe		2	
Trübung		leicht trüb	
Geruch		leicht erdig	
Wassertemperatur	°C	10,4	
pH-Wert		7,8	
Eh-Wert	mV	-10	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	432	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,7	
Basekapazität	ml	0,10	
Gesamthärte	mmol/l	1,5	
	°dH	9	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	7,6	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	164,70	
pE-Wert		-0,2	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,38	
Chlorid	mg/l	41,86	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	21,13	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	29,54	
Kalium	mg/l	2,61	
Ammonium	mg/l	0,71	
Calcium	mg/l	42,33	
Magnesium	mg/l	7,34	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	0,08	
Eisen	mg/l	1,29	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	23,20	
DOC	mg/l	12,82	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 128 mitte</b>		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: 19 Filtertiefe [m u. GOK]: 16 - 18	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,06	3,35	3,49
Farbe		1	2	3
Trübung		leicht	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	9,9	10,6
pH-Wert		7,3	7,4	7,3
Eh-Wert	mV	95	-113	355
El. Leitfähigkeit	µS/cm	923	921	898
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,20	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	2	0	n.b.
Säurekapazität	ml	4,0	4,8	4,8
Basekapazität	ml	0,20	0,45	0,50
Gesamthärte	mmol/l	1,7	1,5	1,7
	°dH	9,4	8,2	9,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	11,2	13,4	13,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	244,00	292,80	292,80
pe-Wert		1,6	-1,9	6,0
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	1,01	< 0,20	0,30
Chlorid	mg/l	144,00	125,29	129,03
Fluorid	mg/l	5,87	1,39	0,80
Nitrit	mg/l	0,01	0,02	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	124,19	126,46	131,27
Kalium	mg/l	24,10	22,48	25,94
Ammonium	mg/l	< 0,03	2,44	1,11
Calcium	mg/l	23,86	16,42	19,99
Magnesium	mg/l	36,20	25,41	31,13
Aluminium	mg/l	0,09	0,05	0,08
Mangan	mg/l	0,07	0,20	0,11
Eisen	mg/l	0,46	0,51	0,35
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	6,55
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	6,14
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	55,80
Blei	µg/l	n.b.	n.b.	9,28
AOX	µg/l	18,90	29,00	36,40
DOC	mg/l	21,96	22,69	27,23



Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 128 mitte</b>		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: 19 Filtertiefe [m u. GOK]: 16 - 18	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,58	3,40	3,44
Farbe		3	2	2
Trübung		trüb	gasreich	klar, gasreich
Geruch		sehr schwach H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,9	9,9	9,4
pH-Wert		7,3	7,3	7,3
Eh-Wert	mV	-87	111	342
El. Leitfähigkeit	µS/cm	903	837	805
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	5,3	4,5	4,4
Basekapazität	ml	0,20	0,20	0,15
Gesamthärte	mmol/l	1,6	17,5	1,7
	°dH	8,8	9,8	9,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	14,7	12,6	12,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	320,25	274,50	268,40
pe-Wert		-1,5	1,9	5,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	1,12
Chlorid	mg/l	121,66	116,89	336,83
Fluorid	mg/l	< 0,10	1,67	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,44	0,03	0,03
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	2,72
Sulfat	mg/l	2,00	< 2,00	20,58
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	117,06	98,06	327,98
Kalium	mg/l	24,25	18,97	11,91
Ammonium	mg/l	2,90	2,08	1,05
Calcium	mg/l	18,83	23,91	7,53
Magnesium	mg/l	27,17	27,30	6,68
Aluminium	mg/l	0,35	0,20	0,19
Mangan	mg/l	0,20	< 0,05	0,05
Eisen	mg/l	2,87	0,92	0,32
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Blei	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	20,70	14,10	24,00
DOC	mg/l	18,07	10,77	10,90

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 128 mitte		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: 19 Filtertiefe [m u. GOK]: 16 - 18
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	3,53	
Farbe		2	
Trübung		klar, gasig	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	10,3	
pH-Wert		7,5	
Eh-Wert	mV	-36	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	857	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	4,4	
Basekapazität	ml	0,35	
Gesamthärte	mmol/l	1,8	
	°dH	10,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	12,3	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	268,40	
pE-Wert		-0,6	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,42	
Chlorid	mg/l	120,46	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	60,32	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	97,18	
Kalium	mg/l	14,65	
Ammonium	mg/l	2,28	
Calcium	mg/l	21,23	
Magnesium	mg/l	26,06	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	0,06	
Eisen	mg/l	0,31	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Blei	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	15,60	
DOC	mg/l	12,30	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 128 unten</b>		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 23 - 25	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,05	3,35	3,48
Farbe		1	0	2
Trübung		sehr leicht	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	9,9	10,5
pH-Wert		7,4	7,6	7,7
Eh-Wert	mV	63	-93	386
El. Leitfähigkeit	µS/cm	567	660	902
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,20	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	2	0	n.b.
Säurekapazität	ml	3,5	4	4,6
Basekapazität	ml	0,15	0,20	0,15
Gesamthärte	mmol/l	1,0	0,7	0,7
	°dH	5,8	4,0	3,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,8	11,2	12,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	213,50	244,00	280,60
p <sub>e</sub> -Wert		1,1	-1,6	6,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,29	0,30
Chlorid	mg/l	65,00	80,74	147,30
Fluorid	mg/l	1,05	0,39	0,50
Nitrit	mg/l	0,01	0,02	< 0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	< 2,00	4,60
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	68,78	101,47	185,07
Kalium	mg/l	15,30	16,51	24,06
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,20	0,50
Calcium	mg/l	31,51	24,45	8,40
Magnesium	mg/l	17,70	16,11	9,70
Aluminium	mg/l	0,05	0,05	0,07
Mangan	mg/l	0,08	0,06	0,09
Eisen	mg/l	0,67	0,18	0,12
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	15,30	7,20	6,60
DOC	mg/l	17,47	14,94	9,95

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 128 unten</b>		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 23 - 25	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,54	3,40	3,43
Farbe		2	1	2
Trübung		klar	klar	klar, leicht gasig
Geruch		H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,9	10,0	9,8
pH-Wert		7,6	7,4	7,6
Eh-Wert	mV	-74	42	28
El. Leitfähigkeit	µS/cm	>915	>1220	> 1776
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	4,6	4,7	5,3
Basekapazität	ml	0,10	0,15	0,10
Gesamthärte	mmol/l	0,6	0,6	0,8
	°dH	3,5	3,2	4,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	12,7	13,2	14,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	277,55	286,70	323,30
p <sub>e</sub> -Wert		-1,3	0,7	0,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,30	< 0,20
Chlorid	mg/l	105,05	204,64	219,15
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,17	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,02	0,05	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	2,35	8,73	9,73
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	136,37	213,38	175,91
Kalium	mg/l	19,96	21,67	27,40
Ammonium	mg/l	0,90	0,72	2,14
Calcium	mg/l	8,98	5,95	48,45
Magnesium	mg/l	10,35	10,02	46,68
Aluminium	mg/l	0,18	0,19	0,18
Mangan	mg/l	0,05	0,06	0,07
Eisen	mg/l	0,33	1,16	0,60
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	8,00	5,80	9,00
DOC	mg/l	11,76	5,96	13,90

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 128 unten		R-Wert: 2597928 H-Wert: 5958894	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 23 - 25
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	3,53	
Farbe		2	
Trübung		klar, leichte gasig	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	10,4	
pH-Wert		7,8	
Eh-Wert	mV	-62	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	1427	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,6	
Basekapazität	ml	0,10	
Gesamthärte	mmol/l	0,6	
	°dH	3,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	10,1	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	219,60	
pE-Wert		-1,1	
Labor:			
Bromid	mg/l	1,73	
Chlorid	mg/l	296,22	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	1,50	
Sulfat	mg/l	44,92	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	151,35	
Kalium	mg/l	7,87	
Ammonium	mg/l	1,00	
Calcium	mg/l	1,13	
Magnesium	mg/l	4,56	
Aluminium	mg/l	0,20	
Mangan	mg/l	0,16	
Eisen	mg/l	0,08	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	5,60	
DOC	mg/l	13,86	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 129</b>		R-Wert: 2598621 H-Wert: 5958831	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 12 - 18	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 08.12.1999</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,04	2,26	2,52
Farbe		0	0	1
Trübung		sehr leicht	sehr leicht	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	sehr schwach H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,6	10,2	10,8
pH-Wert		8,0	7,9	7,7
Eh-Wert	mV	100	-93	355
El. Leitfähigkeit	µS/cm	307	310	401
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,40	0	n.b.
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	0	n.b.
Säurekapazität	ml	1,5	1,5	2,2
Basekapazität	ml	0,05	0,03	0,10
Gesamthärte	mmol/l	0,8	0,9	1,0
	°dH	4,2	4,6	5,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	4,2	4,2	6,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	91,50	91,50	134,20
p <sub>e</sub> -Wert		1,7	-1,6	6,0
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	36,20	39,38	57,80
Fluorid	mg/l	1,69	< 0,10	0,15
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,01	0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	1,50	< 0,40
Sulfat	mg/l	5,00	2,89	5,50
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	27,09	21,87	41,36
Kalium	mg/l	6,20	5,61	6,32
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,37
Calcium	mg/l	25,14	22,80	25,01
Magnesium	mg/l	10,30	7,73	11,34
Aluminium	mg/l	0,06	< 0,05	0,08
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,15	< 0,05	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	11,60
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	138,00
Blei	µg/l	n.b.	n.b.	24,70
AOX	µg/l	4,50	11,60	7,60
DOC	mg/l	10,99	9,12	11,00

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 129</b>		R-Wert: 2598621 H-Wert: 5958831	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 12 - 18	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20. 04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,56	2,18	2,31
Farbe		1	0	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	kein	kein
Wassertemperatur	°C	10,1	9,8	9,4
pH-Wert		8,1	7,6	8,0
Eh-Wert	mV	-113	191	340
El. Leitfähigkeit	µS/cm	>500	308	302
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,2	1,6	1,6
Basekapazität	ml	0,10	0,05	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,2	1,2	1,0
	°dH	6,6	6,4	5,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	6,2	4,3	4,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	134,20	94,55	97,60
p <sub>e</sub> -Wert		-1,9	3,2	5,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	63,78	35,90	39,30
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,09	0,03
Nitrat	mg/l	< 0,40	1,37	1,24
Sulfat	mg/l	5,80	6,13	5,67
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	42,05	23,41	20,17
Kalium	mg/l	6,52	6,22	4,21
Ammonium	mg/l	1,12	0,26	0,48
Calcium	mg/l	22,03	20,70	21,73
Magnesium	mg/l	9,77	8,97	8,39
Aluminium	mg/l	0,17	0,18	0,31
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,13	0,51	0,28
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Blei	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	5,70	7,30	10,70
DOC	mg/l	12,35	5,21	7,10

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle 129		R-Wert: 2598621 H-Wert: 5958831	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 12 - 18
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,57	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	10,6	
pH-Wert		8,1	
Eh-Wert	mV	-23	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	581	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,8	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	1,1	
	°dH	6	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	7,8	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	170,80	
pE-Wert		-0,4	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,34	
Chlorid	mg/l	100,07	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	0,47	
Sulfat	mg/l	20,31	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	68,90	
Kalium	mg/l	6,14	
Ammonium	mg/l	1,48	
Calcium	mg/l	21,26	
Magnesium	mg/l	10,38	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	0,06	
Eisen	mg/l	0,13	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Blei	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	8,50	
DOC	mg/l	8,22	



Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 130 oben</b>		R-Wert: 2599522 H-Wert: 5958839	Endtiefe [m u. ROK]: 23,5 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 – 23,5	
Zeitraum der Probennahme:		<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20.04.2001</b>	<b>30.07.-02.08.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,95	2,07	2,08
Farbe		0	1	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,3	9,5	10,2
pH-Wert		7,8	8,0	7,7
Eh-Wert	mV	54	129	502
El. Leitfähigkeit	µS/cm	479	386	543
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,8	3,6	2,5
Basekapazität	ml	0,05	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,5	1,4	1,6
	°dH	8,6	7,7	9,1
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,7	10,1	7,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	167,75	219,60	152,50
p <sub>e</sub> -Wert		0,9	2,2	8,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	0,23	< 0,20	0,27
Chlorid	mg/l	45,05	34,44	71,48
Fluorid	mg/l	0,31	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,03	0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	21,22	15,29	27,39
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	39,88	26,81	68,9
Kalium	mg/l	4,51	2,54	6,14
Ammonium	mg/l	0,21	0,15	1,48
Calcium	mg/l	47,51	42,82	21,26
Magnesium	mg/l	7,64	5,61	10,38
Aluminium	mg/l	0,19	0,19	0,19
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	0,06
Eisen	mg/l	1,04	0,08	0,13
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	11,10	10,40	8,20
DOC	mg/l	n.b.	7,10	7,05

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle 130 unten</b>		R-Wert: 2599522 H-Wert: 5958839	Endtiefe [m u. ROK]: 48 Filtertiefe [m u. GOK]: 31,5 - 48	
Zeitraum der Probennahme:		<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20.04.2001</b>	<b>30.07.-02.08.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,01	2,10	2,11
Farbe		0	1	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,0	9,4	9,8
pH-Wert		7,8	7,8	7,7
Eh-Wert	mV	55	274	-102
El. Leitfähigkeit	µS/cm	4560	2840	2900
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	3,5	2,6	3,4
Basekapazität	ml	0,05	0,10	0,15
Gesamthärte	mmol/l	5,4	3,6	n.b.
	°dH	30,8	20,0	19,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,7	7,3	9,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	210,45	158,60	207,40
p <sub>e</sub> -Wert		0,9	4,6	-1,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	2,28	< 0,20	5,72
Chlorid	mg/l	1288,72	1490,82	920,68
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,03	0,01	0,02
Nitrat	mg/l	5,69	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	286,74	301,37	249,24
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	769,29	826,53	253,04
Kalium	mg/l	169,13	51,76	18,50
Ammonium	mg/l	0,29	0,25	0,22
Calcium	mg/l	17,88	70,24	20,17
Magnesium	mg/l	98,46	104,82	33,54
Aluminium	mg/l	0,17	0,17	0,18
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,82	0,09	0,23
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	8,30	6,20	6,10
DOC	mg/l	n.b.	11,30	5,66

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L4</b>		R-Wert: 2599287 H-Wert: 5958645	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 09.02.2000</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,15 (überstaut)	0,27	0,91
Farbe		5	4	2
Trübung		trüb	trüb	trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	6,4	7,6	13,5
pH-Wert		5,9	6,1	6,3
Eh-Wert	mV	98	385	225
El. Leitfähigkeit	µS/cm	165	146	167
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,60	1,40	0,20
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	12	2
Säurekapazität	ml	0,3	0,5	0,8
Basekapazität	ml	2,75	2,80	2,30
Gesamthärte	mmol/l	0,3	0,2	0,2
	°dH	1,6	1,2	1,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	1,1	1,4	2,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	18,30	30,50	48,80
pe-Wert		1,7	6,5	3,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	31,54	34,00	21,50
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	0,01	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	< 0,40	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	6,41	6,67	7,22
Phosphat	mg/l	n.b.	2,00	2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	15,14	15,31	15,30
Kalium	mg/l	3,01	3,86	3,19
Ammonium	mg/l	< 0,03	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	2,25	2,93	3,46
Magnesium	mg/l	3,14	3,61	3,78
Aluminium	mg/l	0,50	1,55	2,62
Mangan	mg/l	0,63	0,07	0,08
Eisen	mg/l	30,36	20,54	17,90
Kupfer	µg/l	n.b.	0,05	0,04
Nickel	µg/l	n.b.	0,01	0,05
Zink	µg/l	n.b.	0,09	0,22
Cobalt	µg/l	n.b.	0,03	< 0,03
AOX	µg/l	67,70	89,20	39,00
DOC	mg/l	19,74	27,36	7,74

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L4</b>		R-Wert: 2599287 H-Wert: 5958645	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20.04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,99	0,48	0,45
Farbe		1	3	4
Trübung		trüb	trüb	trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	erdig
Wassertemperatur	°C	12,5	6,3	6,4
pH-Wert		6,3	6,1	6,0
Eh-Wert	mV	135	196	266
El. Leitfähigkeit	µS/cm	211	320	99
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,70	0,50	9,50
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	7	4	65
Säurekapazität	ml	0,8	0,6	0,6
Basekapazität	ml	1,45	1,55	0,75
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	1,4	1,2	n.b.
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	2,1	4,3	1,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	45,75	94,55	36,60
p <sub>e</sub> -Wert		2,3	3,3	4,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	34,50	33,83	12,11
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	n.b.	0,10
Nitrat	mg/l	n.b.	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	8,95	6,44	11,54
Phosphat	mg/l	2,58	3,25	2,14
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	15,38	16,77	12,60
Kalium	mg/l	2,08	1,70	1,36
Ammonium	mg/l	n.b.	n.b.	0,23
Calcium	mg/l	3,39	2,36	1,56
Magnesium	mg/l	4,05	3,65	1,65
Aluminium	mg/l	2,05	1,26	1,36
Mangan	mg/l	0,09	0,08	< 0,05
Eisen	mg/l	25,84	37,60	10,77
Kupfer	µg/l	0,03	0,03	< 0,01
Nickel	µg/l	0,06	0,03	< 0,02
Zink	µg/l	0,13	0,06	0,05
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	30,60	47,20	88,50
DOC	mg/l	6,14	16,40	19,70

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle L4		R-Wert: 2599287 H-Wert: 5958645	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,62	
Farbe		3	
Trübung		zunehmend trüb	
Geruch		leicht fischig	
Wassertemperatur	°C	15,7	
pH-Wert		5,9	
Eh-Wert	mV	281	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	132	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,00	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	
Säurekapazität	ml	0,4	
Basekapazität	ml	1,35	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	1,3	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	1,0	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	21,35	
pε-Wert		4,8	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	17,20	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,26	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	13,51	
Phosphat	mg/l	2,04	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	11,99	
Kalium	mg/l	3,47	
Ammonium	mg/l	0,62	
Calcium	mg/l	2,26	
Magnesium	mg/l	4,40	
Aluminium	mg/l	2,98	
Mangan	mg/l	0,07	
Eisen	mg/l	13,90	
Kupfer	µg/l	0,02	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,09	
Cobalt	µg/l	< 0,03	
AOX	µg/l	58,50	
DOC	mg/l	22,24	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L9</b>		R-Wert: 2599526 H-Wert: 5958770	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 09.02.2000</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,54	0,87	1,33
Farbe		4	4	1
Trübung		trüb	trüb	stark trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	erdig	muffig
Wassertemperatur	°C	6,4	7,5	13,4
pH-Wert		4,3	5,8	5,5
Eh-Wert	mV	308	364	208
El. Leitfähigkeit	µS/cm	218	202	165
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,40	0,80	6,60
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	12	6	65
Säurekapazität	ml	0,1	0,3	0,2
Basekapazität	ml	0,70	2,40	2,95
Gesamthärte	mmol/l	0,1	0,1	0,1
	°dH	0,6	0,8	0,7
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	0,3	0,8	1,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	6,10	18,30	12,20
pe-Wert		5,2	6,2	3,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	0,28	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	46,75	23,00	35,50
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	< 0,01	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	0,49	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	5,15	8,67	13,15
Phosphat	mg/l	n.b.	0,64	0,83
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	22,11	12,58	18,62
Kalium	mg/l	2,66	4,75	3,11
Ammonium	mg/l	< 0,03	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	1,05	1,10	2,30
Magnesium	mg/l	1,86	1,55	1,77
Aluminium	mg/l	0,47	1,45	3,07
Mangan	mg/l	< 0,05	0,03	0,08
Eisen	mg/l	5,87	19,02	13,60
Kupfer	µg/l	n.b.	0,03	0,02
Nickel	µg/l	n.b.	0,01	0,05
Zink	µg/l	n.b.	0,11	0,16
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	42,30	69,10	33,60
DOC	mg/l	3,87	5,93	3,52

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L9</b>		R-Wert: 2599526 H-Wert: 5958770	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20.04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,27	0,84	0,95
Farbe		2	4	3
Trübung		trüb	trüb	trüb
Geruch		fischig	leicht H <sub>2</sub> S	leicht H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	12,2	5,8	6,7
pH-Wert		5,8	4,7	5,7
Eh-Wert	mV	378	468	343
El. Leitfähigkeit	µS/cm	153	257	76
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	2,60	1,10	2,80
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	24	9	21
Säurekapazität	ml	0,2	0,1	0,2
Basekapazität	ml	1,40	0,75	0,55
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	0,6	0,5	n.b.
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	0,3	0,1	0,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	12,20	3,05	12,20
pe-Wert		6,4	7,9	5,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	70,41	29,11	13,49
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	0,03	0,22
Nitrat	mg/l	n.b.	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	3,13	16,00	9,23
Phosphat	mg/l	1,04	0,34	1,44
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	15,25	22,63	10,68
Kalium	mg/l	2,20	1,16	1,89
Ammonium	mg/l	n.b.	0,21	0,25
Calcium	mg/l	1,72	1,03	1,85
Magnesium	mg/l	1,56	1,53	1,85
Aluminium	mg/l	1,87	0,70	1,96
Mangan	mg/l	0,08	0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	11,35	27,22	24,95
Kupfer	µg/l	0,03	0,04	0,17
Nickel	µg/l	0,07	< 0,02	< 0,02
Zink	µg/l	0,11	0,05	0,06
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	38,00	60,70	75,50
DOC	mg/l	6,39	5,70	21,20

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
<b>Messstelle L9</b>		R-Wert: 2599526 H-Wert: 5958770	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		<b>30.07.-02.08.2001</b>	
<b>Gelände:</b>			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,08	
Farbe		3	
Trübung		trüb	
Geruch		erdig	
Wassertemperatur	°C	15,2	
pH-Wert		5,5	
Eh-Wert	mV	328	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	148	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,10	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	
Säurekapazität	ml	0,2	
Basekapazität	ml	1,25	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	0,6	
<b>Berechnungen:</b>			
Karbonathärte	°dH	0,4	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	9,15	
pε-Wert		5,6	
<b>Labor:</b>			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	19,38	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,22	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	7,21	
Phosphat	mg/l	0,75	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	1,77	
Kalium	mg/l	1,96	
Ammonium	mg/l	0,22	
Calcium	mg/l	1,10	
Magnesium	mg/l	1,70	
Aluminium	mg/l	2,85	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	9,21	
Kupfer	µg/l	0,18	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,09	
Cobalt	µg/l	< 0,03	
AOX	µg/l	73,50	
DOC	mg/l	13,62	



<b>Beprobung Langeoog, TK 25: 2210</b>				
<b>Messstelle L13</b>		R-Wert: 2598948 H-Wert: 5958744	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 09.02.2000</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u.	0,30	0,46	1,12
Farbe		5	4	1
Trübung		trüb	trüb	stark trüb
Geruch		kein	H <sub>2</sub> S	muffig
Wassertemperatur	°C	6,8	7,3	12,2
pH-Wert		4,6	5,2	5,4
Eh-Wert	mV	566	446	338
El. Leitfähigkeit	µS/cm	364	385	634
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	2,60	0,60	0,30
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	22	6	3
Säurekapazität	ml	0,1	0,1	0,4
Basekapazität	ml	1,70	2,00	2,80
Gesamthärte	mmol/l	0,4	0,4	0,7
	°dH	2,0	2,1	3,9
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	0,3	0,3	1,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	6,10	6,10	24,40
p <sub>e</sub> -Wert		9,6	7,6	5,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	104,60	105,00	130,00
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	0,08	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	13,42	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	21,13	30,00	37,17
Phosphat	mg/l	n.b.	0,64	4,35
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	45,87	47,30	72,38
Kalium	mg/l	7,63	11,00	11,61
Ammonium	mg/l	< 0,03	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	3,61	4,57	9,22
Magnesium	mg/l	6,44	6,48	11,10
Aluminium	mg/l	1,58	1,77	8,58
Mangan	mg/l	< 0,05	0,20	0,24
Eisen	mg/l	13,90	6,05	23,02
Kupfer	µg/l	n.b.	0,02	0,01
Nickel	µg/l	n.b.	0,01	0,05
Zink	µg/l	n.b.	0,12	0,21
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	71,70	76,90	44,90
DOC	mg/l	20,15	9,54	4,20

<b>Beprobung Langeoog, TK 25: 2210</b>				
<b>Messstelle L13</b>		R-Wert: 2598948 H-Wert: 5958744	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20.04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u.	1,24	0,74	0,55
Farbe		2	5	1
Trübung		trüb	stark trüb, Flocken	stark trüb
Geruch		fischig	H <sub>2</sub> S	erdig
Wassertemperatur	°C	12,2	6,6	6,5
pH-Wert		5,0	5,2	4,7
Eh-Wert	mV	345	299	488
El. Leitfähigkeit	µS/cm	595	416	426
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,50	1,60	8,70
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	13	73
Säurekapazität	ml	0,2	0,2	0,1
Basekapazität	ml	1,55	1,10	1,40
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	2,8	1,5	n.b.
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	0,4	0,4	0,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	9,15	9,15	6,10
p <sub>e</sub> -Wert		5,8	5,1	8,3
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	0,21	< 0,20
Chlorid	mg/l	149,39	86,37	113,65
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	n.b.	0,03
Nitrat	mg/l	n.b.	0,52	2,22
Sulfat	mg/l	30,64	24,98	40,00
Phosphat	mg/l	2,52	3,14	7,14
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	73,54	53,12	65,30
Kalium	mg/l	9,53	8,86	7,87
Ammonium	mg/l	n.b.	n.b.	0,41
Calcium	mg/l	6,70	3,35	4,00
Magnesium	mg/l	7,96	4,62	6,47
Aluminium	mg/l	4,64	2,27	6,96
Mangan	mg/l	0,17	0,09	0,12
Eisen	mg/l	58,37	61,68	25,18
Kupfer	µg/l	0,10	0,02	0,46
Nickel	µg/l	0,08	0,03	< 0,02
Zink	µg/l	0,12	0,08	0,08
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	46,80	66,90	75,20
DOC	mg/l	5,13	10,87	7,10

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
Messstelle L13		R-Wert: 2598948 H-Wert: 5958744	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		30.07.-02.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,82	
Farbe		4	
Trübung		trüb	
Geruch		leicht H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	14,2	
pH-Wert		5,5	
Eh-Wert	mV	271	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	371	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,70	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	17	
Säurekapazität	ml	0,1	
Basekapazität	ml	1,95	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	1,1	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	0,3	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	6,10	
pε-Wert		4,6	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	104,17	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,06	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	15,30	
Phosphat	mg/l	0,75	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	50,56	
Kalium	mg/l	8,31	
Ammonium	mg/l	0,39	
Calcium	mg/l	2,14	
Magnesium	mg/l	3,42	
Aluminium	mg/l	1,40	
Mangan	mg/l	0,07	
Eisen	mg/l	7,55	
Kupfer	µg/l	0,03	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,07	
Cobalt	µg/l	< 0,03	
AOX	µg/l	73,70	
DOC	mg/l	21,99	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L19</b>		R-Wert: 2604818 H-Wert: 5959150	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 09.02.2000</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,36 (überstaut)	0,45	1,15
Farbe		5	5	2
Trübung		stark trüb	stark trüb	stark trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	erdig
Wassertemperatur	°C	6,4	9,3	14,8
pH-Wert		6,0	5,5	6,9
Eh-Wert	mV	92	-44	240
El. Leitfähigkeit	µS/cm	391	233	401
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,50	1,80	0,60
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	14	6
Säurekapazität	ml	1,2	1,5	1,7
Basekapazität	ml	3,15	5,75	2,30
Gesamthärte	mmol/l	0,7	0,7	1,3
	°dH	3,8	4,0	7,3
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	3,4	4,2	10,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	73,20	91,50	103,70
p <sub>e</sub> -Wert		1,6	-0,7	4,1
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	78,94	52,00	30,00
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	< 0,01	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	14,97	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	9,00	91,46	6,25
Phosphat	mg/l	n.b.	1,06	3,65
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	41,02	36,04	32,04
Kalium	mg/l	2,38	3,02	3,85
Ammonium	mg/l	< 0,03	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	13,97	13,89	42,85
Magnesium	mg/l	7,00	6,48	5,70
Aluminium	mg/l	0,55	4,47	4,19
Mangan	mg/l	< 0,05	0,05	0,24
Eisen	mg/l	25,40	16,77	18,42
Kupfer	µg/l	n.b.	0,01	0,03
Nickel	µg/l	n.b.	< 0,02	0,06
Zink	µg/l	n.b.	0,10	0,33
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	78,40	149,20	48,60
DOC	mg/l	53,20	80,13	15,89

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L19</b>		R-Wert: 2604818 H-Wert: 5959150	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20.04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,91	0,59	0,66
Farbe		5	5	5
Trübung		trüb	trüb, Schimmel	zunehmend trüb
Geruch		algig	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	12,7	5,9	7,0
pH-Wert		5,7	5,8	5,8
Eh-Wert	mV	420	166	125
El. Leitfähigkeit	µS/cm	281	322	146
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,20	0,40	0,30
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	2	4	3
Säurekapazität	ml	2,5	0,7	0,5
Basekapazität	ml	3,10	2,25	1,35
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	2,2	2,4	n.b.
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,0	1,8	1,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	152,50	39,65	27,45
pe-Wert		7,1	2,8	2,1
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	119,19	48,75	24,57
Fluorid	mg/l	n.b.	0,13	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	n.b.	0,33
Nitrat	mg/l	n.b.	< 0,40	0,13
Sulfat	mg/l	60,00	21,39	7,69
Phosphat	mg/l	0,50	0,34	0,48
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	37,74	36,16	23,42
Kalium	mg/l	1,35	1,47	1,19
Ammonium	mg/l	n.b.	n.b.	0,23
Calcium	mg/l	9,54	8,57	5,63
Magnesium	mg/l	3,59	5,18	2,60
Aluminium	mg/l	2,65	2,23	3,53
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	8,90	10,81	8,75
Kupfer	µg/l	0,02	< 0,01	< 0,01
Nickel	µg/l	0,05	< 0,02	< 0,02
Zink	µg/l	0,05	0,02	0,06
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	102,90	232,00	204,90
DOC	mg/l	72,88	78,23	95,90

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
<b>Messstelle L19</b>		R-Wert: 2604818 H-Wert: 5959150	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		<b>30.07.-02.08.2001</b>	
<b>Gelände:</b>			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,71	
Farbe		5	
Trübung		leicht trüb	
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	16,0	
pH-Wert		6,2	
Eh-Wert	mV	53	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	344	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,40	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	14	
Säurekapazität	ml	0,5	
Basekapazität	ml	2,60	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	2,6	
<b>Berechnungen:</b>			
Karbonathärte	°dH	1,4	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	30,50	
pε-Wert		0,9	
<b>Labor:</b>			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	76,21	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,19	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	14,38	
Phosphat	mg/l	0,38	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	43,36	
Kalium	mg/l	1,77	
Ammonium	mg/l	0,15	
Calcium	mg/l	9,83	
Magnesium	mg/l	5,49	
Aluminium	mg/l	1,65	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	9,40	
Kupfer	µg/l	0,01	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,38	
Cobalt	µg/l	< 0,03	
AOX	µg/l	131,60	
DOC	mg/l	93,91	

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L22</b>		R-Wert: 2599623 H-Wert: 5959092	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>07. - 09.02.2000</b>	<b>03. - 06.04.2000</b>	<b>24. - 27.07.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,10	0,51	0,92
Farbe		5	3	2
Trübung		trüb	trüb	trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	6,2	7,0	12,3
pH-Wert		4,4	5,1	6,4
Eh-Wert	mV	429	310	162
El. Leitfähigkeit	µS/cm	381	149	263
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	3,50	2,50	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	27	21	0
Säurekapazität	ml	0,1	0,2	0,3
Basekapazität	ml	1,30	2,30	1,95
Gesamthärte	mmol/l	0,1	0,3	0,3
	°dH	0,6	1,8	1,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	0,3	0,6	2,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	6,10	12,20	18,30
pe-Wert		7,3	5,3	2,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	73,36	48,00	46,00
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	< 0,01	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	< 0,40	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	35,00	59,76	26,10
Phosphat	mg/l	n.b.	1,02	2,70
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	39,41	20,50	30,39
Kalium	mg/l	3,56	3,28	3,97
Ammonium	mg/l	< 0,03	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	2,05	4,07	3,42
Magnesium	mg/l	4,23	3,05	4,32
Aluminium	mg/l	2,32	1,91	3,40
Mangan	mg/l	<0,05	0,03	0,05
Eisen	mg/l	13,90	7,87	12,09
Kupfer	µg/l	n.b.	0,01	< 0,01
Nickel	µg/l	n.b.	< 0,02	0,03
Zink	µg/l	n.b.	0,07	0,04
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	62,50	68,90	64,80
DOC	mg/l	5,40	28,59	23,46

Beprobung Langeoog, TK 25: 2210				
<b>Messstelle L22</b>		R-Wert: 2599623 H-Wert: 5959092	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>16. – 18.10.2000</b>	<b>08. – 11.01.2001</b>	<b>17. – 20.04.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,00	0,51	0,62
Farbe		4	3	4
Trübung		schwach trüb	schwach trüb	gasreich, trüb
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	12,3	6,1	6,5
pH-Wert		5,7	5,2	5,3
Eh-Wert	mV	5	230	136
El. Leitfähigkeit	µS/cm	307	213	148
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,80	0,50	2,90
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	8	3	25
Säurekapazität	ml	0,3	0,2	0,3
Basekapazität	ml	1,60	0,95	0,75
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	1,4	1,3	n.b.
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	0,7	0,4	2,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	18,30	9,15	18,30
pe-Wert		0,1	3,9	2,3
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	1,10
Chlorid	mg/l	42,04	51,19	33,75
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,1
Nitrit	mg/l	n.b.	0,09	0,10
Nitrat	mg/l	n.b.	< 0,40	2,52
Sulfat	mg/l	26,47	33,23	18,46
Phosphat	mg/l	1,21	0,94	0,96
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	34,94	33,00	25,11
Kalium	mg/l	2,85	2,96	2,37
Ammonium	mg/l	n.b.	0,32	0,22
Calcium	mg/l	2,74	1,95	2,18
Magnesium	mg/l	4,28	4,35	2,82
Aluminium	mg/l	2,06	1,91	2,39
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	11,18	8,44	6,80
Kupfer	µg/l	< 0,01	0,02	< 0,01
Nickel	µg/l	0,03	< 0,02	< 0,02
Zink	µg/l	0,03	0,03	0,06
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	63,50	159,50	121,20
DOC	mg/l	21,40	26,17	34,30



Beprobung Langeoog, TK 25: 2210			
<b>Messstelle L22</b>		R-Wert: 2599623 H-Wert: 5959092	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		<b>30.07.-02.08.2001</b>	
<b>Gelände:</b>			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,79	
Farbe		5	
Trübung		trüb	
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	13,9	
pH-Wert		5,4	
Eh-Wert	mV	127	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	158	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,70	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	7	
Säurekapazität	ml	0,2	
Basekapazität	ml	1,45	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	2,8	
<b>Berechnungen:</b>			
Karbonathärte	°dH	0,6	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	12,20	
pε-Wert		2,2	
<b>Labor:</b>			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	35,75	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,15	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	12,50	
Phosphat	mg/l	0,38	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	17,40	
Kalium	mg/l	2,36	
Ammonium	mg/l	0,26	
Calcium	mg/l	3,50	
Magnesium	mg/l	2,15	
Aluminium	mg/l	1,48	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	3,83	
Kupfer	µg/l	0,03	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,38	
Cobalt	µg/l	< 0,03	
AOX	µg/l	93,00	
DOC	mg/l	39,67	

## **Anhang 4-2**

### **Analysenergebnisse Norderney**

#### **Verwendete Abkürzungen:**

n.b. = nicht bestimmt

Farbe:

0 = farblos

1 = sehr leicht gelblich gefärbt

2 = leicht gelblich gefärbt

3 = deutlich gelblich gefärbt

4 = stark gelblich gefärbt

5 = sehr stark gelblichbraun gefärbt

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY2</b>		R-Wert: 2580480 H-Wert: 5953705	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,71	1,99	2,20
Farbe		2	2	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	muffig
Wassertemperatur	°C	10,4	10,1	10,3
pH-Wert		7,4	6,9	6,9
Eh-Wert	mV	166	174	129
El. Leitfähigkeit	µS/cm	429	422	450
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,30	2,20	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	3	20	0
Säurekapazität	ml	1,7	3,2	3,5
Basekapazität	ml	0,20	0,30	0,50
Gesamthärte	mmol/l	1,0	1,4	1,4
	°dH	5,3	7,8	7,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	4,8	6,0	9,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	103,70	195,20	213,50
pe-Wert		2,8	2,9	2,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	34,04	43,76	36,82
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,17	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	0,01
Nitrat	mg/l	6,54	1,92	0,98
Sulfat	mg/l	8,91	7,39	4,48
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	31,82	28,22	28,45
Kalium	mg/l	4,88	3,75	3,01
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,26
Calcium	mg/l	37,50	43,31	52,59
Magnesium	mg/l	8,16	5,54	6,64
Aluminium	mg/l	0,08	0,06	0,05
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,29	0,20	1,07
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	7,00	34,50	32,50
DOC	mg/l	16,12	5,48	23,02

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY2</b>		R-Wert: 2580480 H-Wert: 5953705	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,09	1,92	2,02
Farbe		3	2	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		erdig	erdig	erdig
Wassertemperatur	°C	10,5	10,2	9,7
pH-Wert		7,2	7,2	6,8
Eh-Wert	mV	121	139	191
El. Leitfähigkeit	µS/cm	474	418	356
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	5,10	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	45	0
Säurekapazität	ml	3,6	3,3	2,3
Basekapazität	ml	0,15	0,20	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,9	1,5	1,3
	°dH	10,4	8,5	7,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,9	9,1	6,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	216,55	198,25	137,25
pε-Wert		2,1	2,4	3,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	39,29	35,24	36,01
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,02	0,03	0,01
Nitrat	mg/l	0,28	3,84	3,78
Sulfat	mg/l	2,91	7,71	17,06
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	29,88	26,42	21,54
Kalium	mg/l	2,93	2,81	2,52
Ammonium	mg/l	0,41	0,08	0,18
Calcium	mg/l	58,76	49,13	38,10
Magnesium	mg/l	7,49	5,97	4,46
Aluminium	mg/l	0,18	0,15	0,17
Mangan	mg/l	0,21	0,12	0,05
Eisen	mg/l	3,67	2,72	0,79
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	20,90	21,10	24,30
DOC	mg/l	24,04	12,85	15,00

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY2		R-Wert: 2580480 H-Wert: 5953705	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,02	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		erdig	
Wassertemperatur	°C	10,9	
pH-Wert		7,5	
Eh-Wert	mV	203	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	> 435	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,6	
Basekapazität	ml	0,35	
Gesamthärte	mmol/l	1,8	
	°dH	10,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	7,3	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	158,60	
pE-Wert		3,4	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	42,98	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	0,70	
Sulfat	mg/l	14,56	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	22,57	
Kalium	mg/l	2,40	
Ammonium	mg/l	0,45	
Calcium	mg/l	56,54	
Magnesium	mg/l	6,48	
Aluminium	mg/l	0,17	
Mangan	mg/l	0,11	
Eisen	mg/l	0,59	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	25,90	
DOC	mg/l	22,50	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY4/1</b>		R-Wert: 2579415 H-Wert: 5954165	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,51	1,82	1,98
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	schwach H <sub>2</sub> S	kein
Wassertemperatur	°C	9,9	9,7	10,4
pH-Wert		8,3	8,0	7,5
Eh-Wert	mV	n.b.	-35	117
El. Leitfähigkeit	µS/cm	226	267	227
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,80	0,70	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	16	5,0	0
Säurekapazität	ml	1,2	1,7	1,4
Basekapazität	ml	0	0,05	0,20
Gesamthärte	mmol/l	0,9	2,2	0,8
	°dH	5,0	13,5	4,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	3,4	4,5	3,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	73,20	100,65	85,40
pe-Wert		n.b.	-0,6	2,0
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	24,25	32,50	23,20
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,43	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,10	0,01
Nitrat	mg/l	2,95	1,51	1,33
Sulfat	mg/l	7,31	10,52	11,16
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	13,51	15,72	13,39
Kalium	mg/l	2,88	1,99	2,06
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,08
Calcium	mg/l	33,52	27,12	21,57
Magnesium	mg/l	5,60	4,81	4,81
Aluminium	mg/l	0,09	0,05	0,06
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,50	< 0,05	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	4,50	9,00	6,40
DOC	mg/l	4,85	10,37	0,54

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY4/1</b>		R-Wert: 2579415 H-Wert: 5954165	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,80	1,71	1,84
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	schwach erdig
Wassertemperatur	°C	10,3	10,3	9,6
pH-Wert		7,9	8,1	7,8
Eh-Wert	mV	332	195	127
El. Leitfähigkeit	µS/cm	212	251	255
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,0	1,2	1,5
Basekapazität	ml	0,50	0,03	0,05
Gesamthärte	mmol/l	0,7	0,9	1,0
	°dH	3,6	5,0	5,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	5,6	3,4	4,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	122,00	73,20	88,45
pε-Wert		5,6	3,3	2,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	22,58	29,17	32,81
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	2,57	16,12	3,51
Sulfat	mg/l	10,12	12,78	12,67
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	12,17	16,57	12,56
Kalium	mg/l	2,10	2,43	1,26
Ammonium	mg/l	0,21	0,11	0,17
Calcium	mg/l	26,29	34,41	23,99
Magnesium	mg/l	4,51	5,82	3,97
Aluminium	mg/l	0,18	0,17	0,19
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,54	0,31	0,14
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	7,00	19,40	7,60
DOC	mg/l	1,35	4,63	6,10

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY4/1		R-Wert: 2579415 H-Wert: 5954165	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,79	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		erdig, metallisch	
Wassertemperatur	°C	11,6	
pH-Wert		8,4	
Eh-Wert	mV	108	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	> 254	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	1,2	
Basekapazität	ml	0	
Gesamthärte	mmol/l	1,0	
	°dH	5,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	3,4	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	73,20	
pE-Wert		1,8	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	29,35	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	1,69	
Sulfat	mg/l	17,39	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	14,63	
Kalium	mg/l	1,21	
Ammonium	mg/l	0,15	
Calcium	mg/l	24,20	
Magnesium	mg/l	3,87	
Aluminium	mg/l	0,17	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,07	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	3,30	
DOC	mg/l	3,60	



Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY4/2</b>		R-Wert: 2578380 H-Wert: 5954200	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 65 - 80	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,08	1,37	1,50
Farbe		2	2	2
Trübung		klar	trüb	schwach trüb
Geruch		kein	kein	kein
Wassertemperatur	°C	9,9	9,8	10,0
pH-Wert		7,6	7,2	6,8
Eh-Wert	mV	n.b.	112	166
El. Leitfähigkeit	µS/cm	432	417	398
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,2	2,8	2,4
Basekapazität	ml	0,10	0,05	0,35
Gesamthärte	mmol/l	1,2	1,3	1,4
	°dH	6,8	7,0	8,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	6,2	5,6	6,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	134,20	167,75	146,40
pe-Wert		n.b.	1,9	2,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	55,86	59,36	38,63
Fluorid	mg/l	0,12	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	0,08
Nitrat	mg/l	0,71	0,51	0,30
Sulfat	mg/l	17,22	18,36	17,76
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	32,66	28,81	26,75
Kalium	mg/l	4,96	5,71	5,45
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,03
Calcium	mg/l	43,13	34,37	32,59
Magnesium	mg/l	11,66	11,06	11,25
Aluminium	mg/l	0,09	0,05	0,07
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	< 0,05	0,70	0,18
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	13,50	30,40	18,00
DOC	mg/l	21,20	6,97	10,38

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY4/2</b>		R-Wert: 2578380 H-Wert: 5954200	Endtiefe [m u. ROK]: 90 Filtertiefe [m u. GOK]: 65 - 80	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,29	1,30	1,41
Farbe		1	2	1
Trübung		sehr schwach trüb	schwach trüb	leicht trüb
Geruch		kein	kein	kein
Wassertemperatur	°C	9,6	10,4	9,5
pH-Wert		7,5	7,7	7,5
Eh-Wert	mV	396	264	247
El. Leitfähigkeit	µS/cm	412	404	391
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	1,6	2,0	2,2
Basekapazität	ml	0,15	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,2	1,3	1,2
	°dH	6,7	7,2	6,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	4,3	5,6	6,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	94,55	122,00	131,15
p <sub>ε</sub> -Wert		6,7	4,5	4,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	47,15	43,79	49,72
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,01	0,01
Nitrat	mg/l	0,26	3,06	0,91
Sulfat	mg/l	17,94	18,88	18,53
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	29,87	28,23	25,53
Kalium	mg/l	4,07	3,71	3,10
Ammonium	mg/l	0,10	0,13	29,86
Calcium	mg/l	34,45	33,39	8,32
Magnesium	mg/l	8,66	10,04	0,18
Aluminium	mg/l	0,18	0,15	< 0,05
Mangan	mg/l	0,07	< 0,05	1,54
Eisen	mg/l	1,97	1,19	n.b.
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	19,50	16,20	18,00
DOC	mg/l	13,99	10,04	9,90

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY4/2		R-Wert: 2578380 H-Wert: 5954200	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 65 - 80
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,31	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		kein	
Wassertemperatur	°C	10,7	
pH-Wert		7,8	
Eh-Wert	mV	189	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	382	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	1,9	
Basekapazität	ml	0,20	
Gesamthärte	mmol/l	1,3	
	°dH	5,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	5,3	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	115,90	
pE-Wert		3,2	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,23	
Chlorid	mg/l	44,96	
Fluorid	mg/l	< 0,1	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	1,16	
Sulfat	mg/l	22,83	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	26,46	
Kalium	mg/l	2,50	
Ammonium	mg/l	0,24	
Calcium	mg/l	31,20	
Magnesium	mg/l	8,19	
Aluminium	mg/l	0,17	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,33	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	15,20	
DOC	mg/l	8,90	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY6/1</b>		R-Wert: 2579470 H-Wert: 5953665	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,88	2,13	2,34
Farbe		1	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,0	9,8	10,3
pH-Wert		7,6	7,7	8,0
Eh-Wert	mV	151	-102	505
El. Leitfähigkeit	µS/cm	298	297	268
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,30	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	12	0	0
Säurekapazität	ml	0,5	1,3	1,0
Basekapazität	ml	0,15	0,05	0,30
Gesamthärte	mmol/l	0,5	1,4	1,6
	°dH	2,9	7,8	8,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	1,4	4,1	2,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	30,50	79,30	61,00
p <sub>e</sub> -Wert		2,6	-1,7	8,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	36,72	45,13	29,47
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,38	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	3,78	3,36	8,49
Sulfat	mg/l	23,67	29,55	24,50
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	18,87	20,23	19,42
Kalium	mg/l	2,14	2,55	2,83
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,10
Calcium	mg/l	28,49	26,31	23,51
Magnesium	mg/l	5,52	5,09	4,79
Aluminium	mg/l	0,09	< 0,05	0,07
Mangan	mg/l	0,19	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,15	< 0,05	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	2,70	32,00	7,70
DOC	mg/l	10,27	4,45	2,52

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY6/1</b>		R-Wert: 2579470 H-Wert: 5953665	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,62	2,12	2,16
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	sehr schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	11,0	10,2	9,3
pH-Wert		6,5	6,8	7,0
Eh-Wert	mV	277	337	46
El. Leitfähigkeit	µS/cm	218	251	281
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	0,5	2,1	1,0
Basekapazität	ml	0,20	0,25	0,20
Gesamthärte	mmol/l	0,7	0,7	1,1
	°dH	3,6	4,2	6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	1,3	5,9	2,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	27,45	128,10	61,00
pε-Wert		4,7	5,7	0,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	30,67	29,60	32,31
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,01	0,01
Nitrat	mg/l	25,10	27,20	7,35
Sulfat	mg/l	10,29	20,25	29,37
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	17,70	18,86	17,74
Kalium	mg/l	3,02	2,64	1,67
Ammonium	mg/l	0,11	0,11	0,19
Calcium	mg/l	10,69	17,24	22,47
Magnesium	mg/l	4,97	5,05	4,46
Aluminium	mg/l	0,20	0,16	0,18
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,22	0,23	0,21
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	7,90	12,70	4,60
DOC	mg/l	2,40	3,21	8,40

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY6/1		R-Wert: 2579470 H-Wert: 5953665	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,13	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,5	
pH-Wert		7,5	
Eh-Wert	mV	105	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	244	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	0,8	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	0,9	
	°dH	5,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	2,2	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	48,80	
pE-Wert		1,8	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	29,39	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	8,73	
Sulfat	mg/l	28,68	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	18,00	
Kalium	mg/l	1,57	
Ammonium	mg/l	0,20	
Calcium	mg/l	20,22	
Magnesium	mg/l	4,06	
Aluminium	mg/l	0,24	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,29	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	6,80	
DOC	mg/l	3,80	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY6/2</b>		R-Wert: 2579480 H-Wert: 5953700	Endtiefe [m u. ROK]: 70 Filtertiefe [m u. GOK]: 46 - 48	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,10	2,42	1,55
Farbe		0	2	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	kein
Wassertemperatur	°C	10,2	10,0	10,3
pH-Wert		7,9	7,6	8,3
Eh-Wert	mV	233	357	307
El. Leitfähigkeit	µS/cm	285	279	279
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	7,30	0,50	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	63	4,0	0
Säurekapazität	ml	1,1	1,4	2,0
Basekapazität	ml	0,03	0,40	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,0	0,7	1,1
	°dH	5,6	4,0	6,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	3,1	4,2	5,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	67,10	85,40	122,00
pe-Wert		3,9	6,0	5,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	27,99	31,75	27,44
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,53	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	0,99	2,11	< 0,40
Sulfat	mg/l	26,01	28,84	34,72
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	17,67	19,05	18,82
Kalium	mg/l	1,99	2,82	3,14
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Calcium	mg/l	27,13	26,00	25,71
Magnesium	mg/l	6,20	4,84	5,46
Aluminium	mg/l	0,10	0,05	0,05
Mangan	mg/l	0,25	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,06	0,45	0,07
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	48,40	6,00	6,70
DOC	mg/l	14,54	26,11	6,71

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY6/2</b>		R-Wert: 2579480 H-Wert: 5953700	Endtiefe [m u. ROK]: 70 Filtertiefe [m u. GOK]: 46 – 48	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,21	2,20	2,47
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		leicht erdig	leicht erdig	erdig
Wassertemperatur	°C	11,2	10,3	8,9
pH-Wert		7,1	7,2	7,4
Eh-Wert	mV	371	n.b.	285
El. Leitfähigkeit	µS/cm	274	271	274
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	1,6	1,1	1,2
Basekapazität	ml	0,20	0,20	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,0	0,9	1,1
	°dH	5,4	5,2	6,2
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	4,5	2,9	3,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	97,60	64,05	73,20
p <sub>ε</sub> -Wert		6,3	n.b.	4,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	27,01	26,79	26,67
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,01	0,01
Nitrat	mg/l	0,83	3,82	< 0,40
Sulfat	mg/l	31,02	32,95	37,77
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	18,74	17,62	15,21
Kalium	mg/l	2,93	2,15	1,19
Ammonium	mg/l	0,12	0,11	0,15
Calcium	mg/l	48,14	24,75	23,19
Magnesium	mg/l	6,67	4,95	4,14
Aluminium	mg/l	0,16	0,14	0,17
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,19	0,17	0,17
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	5,70	11,60	7,50
DOC	mg/l	4,03	4,59	4,30



Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY6/2		R-Wert: 2579480 H-Wert: 5953700	Endtiefe [m u. ROK]: 70 Filtertiefe [m u. GOK]: 46 - 48
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,18	
Farbe		0	
Trübung		sehr schwach trüb	
Geruch		kein	
Wassertemperatur	°C	11,1	
pH-Wert		8,2	
Eh-Wert	mV	336	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	283	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	1,1	
Basekapazität	ml	0	
Gesamthärte	mmol/l	1,3	
	°dH	7,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	3,1	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	67,10	
pE-Wert		5,7	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	31,88	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	<0,01	
Nitrat	mg/l	2,35	
Sulfat	mg/l	20,02	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	17,48	
Kalium	mg/l	1,18	
Ammonium	mg/l	0,11	
Calcium	mg/l	26,34	
Magnesium	mg/l	4,96	
Aluminium	mg/l	0,17	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,61	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	8,50	
DOC	mg/l	3,70	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY7/1</b>		R-Wert: 2579435 H-Wert: 5954745	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,64	1,41	2,00
Farbe		3	4	3
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	9,5	10,3
pH-Wert		7,6	7,1	7,4
Eh-Wert	mV	n.b.	-55	-57
El. Leitfähigkeit	µS/cm	640	678	691
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,20	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	0	0
Säurekapazität	ml	3,7	5,0	4,5
Basekapazität	ml	0,05	0,05	0,20
Gesamthärte	mmol/l	2,2	2,7	2,8
	°dH	12,0	15,0	16,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	10,4	7,8	12,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	225,70	305,00	274,50
pe-Wert		n.b.	-0,9	-1,0
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	64,00	94,19	71,50
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,04	0,01	0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	3,38	10,17	8,22
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	45,78	46,84	47,86
Kalium	mg/l	9,01	8,24	8,52
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,41	0,18
Calcium	mg/l	129,48	69,56	61,13
Magnesium	mg/l	25,95	17,83	19,42
Aluminium	mg/l	0,10	0,05	0,06
Mangan	mg/l	< 0,05	0,10	< 0,05
Eisen	mg/l	3,35	0,28	2,42
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	147,70	50,20	56,10
DOC	mg/l	24,33	16,07	22,58

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY7/1</b>		R-Wert: 2579435 H-Wert: 5954745	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 – 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,91	1,81	1,96
Farbe		3	3	3
Trübung		sehr schwach trüb	klar	klar
Geruch		kein	schwach H <sub>2</sub> S	erdig
Wassertemperatur	°C	10,1	9,7	9,6
pH-Wert		7,3	7,0	7,4
Eh-Wert	mV	74	22	53
El. Leitfähigkeit	µS/cm	673	683	652
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	5,40	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	47	0
Säurekapazität	ml	3,8	4,3	4,8
Basekapazität	ml	0,30	0,20	0,25
Gesamthärte	mmol/l	2,3	2,2	2,7
	°dH	12,6	12,2	15
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	10,6	12,0	3,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	231,80	262,30	289,75
pε-Wert		1,3	0,4	0,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	73,35	73,25	76,10
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,28	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,02	0,02	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	4,83	< 0,40
Sulfat	mg/l	6,68	5,06	3,04
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	47,81	50,75	43,86
Kalium	mg/l	8,14	9,57	3,79
Ammonium	mg/l	0,59	0,64	0,52
Calcium	mg/l	62,49	61,65	63,78
Magnesium	mg/l	19,27	21,45	14,40
Aluminium	mg/l	0,16	0,17	0,19
Mangan	mg/l	0,23	0,18	0,16
Eisen	mg/l	3,36	3,29	4,04
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	60,70	59,80	76,10
DOC	mg/l	25,80	23,10	23,40

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY7/1		R-Wert: 2579435	Endtiefe [m u. ROK]: 11
		H-Wert: 5954745	
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,95	
Farbe		3	
Trübung		klar	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	9,2	
pH-Wert		7,9	
Eh-Wert	mV	-38	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	670	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	4,5	
Basekapazität	ml	0,40	
Gesamthärte	mmol/l	2,9	
	°dH	16,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	12,5	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	271,45	
pE-Wert		-0,6	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,45	
Chlorid	mg/l	74,65	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	4,24	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	48,16	
Kalium	mg/l	7,02	
Ammonium	mg/l	0,72	
Calcium	mg/l	64,41	
Magnesium	mg/l	23,23	
Aluminium	mg/l	0,16	
Mangan	mg/l	0,08	
Eisen	mg/l	4,08	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	60,90	
DOC	mg/l	25,10	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY7/2</b>		R-Wert: 2579480 H-Wert: 5954800	Endtiefe [m u. ROK]: 72 Filtertiefe [m u. GOK]: 46 - 48	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,40	1,66	1,86
Farbe		2	3	2
Trübung		klar	leicht trüb	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,6	9,5	9,9
pH-Wert		8,1	7,9	7,9
Eh-Wert	mV	n.b.	-65	-90
El. Leitfähigkeit	µS/cm	528	533	532
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	4,60	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	41	0	0
Säurekapazität	ml	3,7	4,7	4,0
Basekapazität	ml	0,10	0,50	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,6	1,6	1,4
	°dH	8,3	8,6	6,9
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	10,4	7,5	11,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	225,70	283,65	240,95
p <sub>e</sub> -Wert		n.b.	-1,1	-1,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	49,43	74,60	43,69
Fluorid	mg/l	0,20	0,81	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,02	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	5,27	< 2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	45,22	51,58	51,77
Kalium	mg/l	12,13	13,72	12,77
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	0,12
Calcium	mg/l	32,88	80,46	27,59
Magnesium	mg/l	21,88	21,73	23,49
Aluminium	mg/l	0,09	0,05	0,07
Mangan	mg/l	0,61	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,63	0,20	1,43
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	59,20	30,80	31,30
DOC	mg/l	21,78	45,82	29,80

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY7/2</b>		R-Wert: 2579480 H-Wert: 5954800	Endtiefe [m u. ROK]: 72 Filtertiefe [m u. GOK]: 46 - 48	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,67	1,57	1,72
Farbe		2	2	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	schwach erdig
Wassertemperatur	°C	10,3	9,7	9,2
pH-Wert		7,8	7,7	7,8
Eh-Wert	mV	31	107	55
El. Leitfähigkeit	µS/cm	546	535	524
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	3,9	4,3	4,0
Basekapazität	ml	0,20	0,05	0,10
Gesamthärte	mmol/l	1,4	1,6	1,5
	°dH	7,8	8,6	9
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	10,9	12,0	11,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	237,90	262,30	244,00
pε-Wert		0,5	1,8	0,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	<0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	46,93	47,66	50,98
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,44	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,02	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	4,07	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	< 2,00	1,43
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	52,12	53,16	48,88
Kalium	mg/l	11,10	12,13	7,55
Ammonium	mg/l	0,49	0,12	0,16
Calcium	mg/l	22,18	24,99	19,47
Magnesium	mg/l	19,86	22,22	18,21
Aluminium	mg/l	0,18	0,15	0,25
Mangan	mg/l	0,10	0,07	0,05
Eisen	mg/l	0,91	0,71	0,86
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	22,70	29,10	26,00
DOC	mg/l	16,58	14,17	13,30

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY7/2		R-Wert: 2579480 H-Wert: 5954800	Endtiefe [m u. ROK]: 72 Filtertiefe [m u. GOK]: 46 - 48
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,74	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	9,3	
pH-Wert		8,2	
Eh-Wert	mV	-29	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	523	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,9	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	1,9	
	°dH	10,5	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	10,8	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	234,85	
pE-Wert		-0,5	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,39	
Chlorid	mg/l	48,43	
Fluorid	mg/l	< 0,1	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	0,63	
Sulfat	mg/l	5,65	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	53,74	
Kalium	mg/l	9,47	
Ammonium	mg/l	0,41	
Calcium	mg/l	21,15	
Magnesium	mg/l	19,30	
Aluminium	mg/l	0,18	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	1,03	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	28,60	
DOC	mg/l	11,20	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY8/1</b>		R-Wert: 2581545 H-Wert: 5954430	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,93	1,13	1,43
Farbe		4	4	3
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		erdig	schwach H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,0	8,8	10,1
pH-Wert		7,1	6,0	7,0
Eh-Wert	mV	187	52	38
El. Leitfähigkeit	µS/cm	807	145	812
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,70	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	6	0	0
Säurekapazität	ml	5,2	6,5	6,9
Basekapazität	ml	2,40	1,70	1,50
Gesamthärte	mmol/l	2,7	3,5	6,4
	°dH	15,0	20,0	36,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	14,6	9,3	19,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	317,20	396,50	417,85
pe-Wert		3,2	0,9	0,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	76,34	72,56	55,15
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,04	0,04	0,05
Nitrat	mg/l	< 0,40	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	44,87	35,82	34,88
Kalium	mg/l	5,22	4,74	5,00
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,39	0,26
Calcium	mg/l	85,81	121,13	102,07
Magnesium	mg/l	6,57	9,42	9,50
Aluminium	mg/l	0,13	0,09	0,12
Mangan	mg/l	0,57	0,52	0,39
Eisen	mg/l	42,48	0,45	4,65
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	18,40	75,40	78,10
DOC	mg/l	42,58	31,77	18,95



Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY8/1</b>		R-Wert: 2581545 H-Wert: 5954430	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 – 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,28	1,15	1,23
Farbe		4	5	4
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S, faulig	erdig, Phenole	erdig
Wassertemperatur	°C	10,2	9,7	8,7
pH-Wert		7,0	6,8	6,8
Eh-Wert	mV	95	79	95
El. Leitfähigkeit	µS/cm	761	774	820
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	5,6	5,4	5,5
Basekapazität	ml	1,30	1,45	1,45
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	16,1	16,3	15,9
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	15,7	15,1	15,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	341,60	329,40	332,45
p <sub>ε</sub> -Wert		1,6	1,3	1,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,25	< 0,20
Chlorid	mg/l	59,13	64,78	111,96
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,12	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,04	0,05	0,04
Nitrat	mg/l	< 0,40	3,37	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	< 2,00	< 2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	38,52	38,21	39,80
Kalium	mg/l	6,15	5,04	2,80
Ammonium	mg/l	0,64	0,72	0,57
Calcium	mg/l	99,68	101,09	100,36
Magnesium	mg/l	9,47	9,13	8,04
Aluminium	mg/l	0,20	0,19	0,20
Mangan	mg/l	1,01	0,32	0,31
Eisen	mg/l	48,47	14,78	9,07
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	61,20	63,30	64,00
DOC	mg/l	38,42	24,11	17,20

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY8/1		R-Wert: 2581545 H-Wert: 5954430	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,20	
Farbe		4	
Trübung		klar	
Geruch		muffig, Phenole	
Wassertemperatur	°C	10,4	
pH-Wert		7,1	
Eh-Wert	mV	35	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	756	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	5,9	
Basekapazität	ml	1,65	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	19,8	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	16,5	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	359,90	
pε-Wert		0,6	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,53	
Chlorid	mg/l	78,37	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,05	
Nitrat	mg/l	0,69	
Sulfat	mg/l	0,32	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	38,15	
Kalium	mg/l	4,05	
Ammonium	mg/l	0,85	
Calcium	mg/l	125,83	
Magnesium	mg/l	9,28	
Aluminium	mg/l	0,18	
Mangan	mg/l	0,21	
Eisen	mg/l	14,19	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	54,60	
DOC	mg/l	29,60	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY8/2</b>		R-Wert: 2581545 H-Wert: 5954430	Endtiefe [m u. ROK]: 69 Filtertiefe [m u. GOK]: 49 - 59	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,24	1,40	1,40
Farbe		4	4	3
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		erdig	muffig	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,0	9,2	9,4
pH-Wert		6,9	6,5	7,0
Eh-Wert	mV	193	112	86
El. Leitfähigkeit	µS/cm	719	694	712
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,40	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	0	0
Säurekapazität	ml	6,1	6,1	6,6
Basekapazität	ml	3,25	2,00	1,50
Gesamthärte	mmol/l	2,7	3,3	2,4
	°dH	14,8	18,2	13,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	17,1	8,9	18,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	372,10	372,10	399,55
pe-Wert		3,3	1,9	1,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	63,31	82,76	55,41
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,20	0,06	0,06
Nitrat	mg/l	0,50	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	1,52	< 2,00
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	31,80	31,29	32,40
Kalium	mg/l	6,13	5,16	4,87
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,56	0,20
Calcium	mg/l	90,45	101,08	113,22
Magnesium	mg/l	6,63	7,66	7,72
Aluminium	mg/l	0,11	0,11	0,11
Mangan	mg/l	< 0,05	1,65	0,28
Eisen	mg/l	26,33	0,62	3,85
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	19,20	44,50	56,10
DOC	mg/l	29,50	12,03	16,48

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle NY8/2</b>		R-Wert: 2581545 H-Wert: 5954430	Endtiefe [m u. ROK]: 69 Filtertiefe [m u. GOK]: 49 - 59	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,46	1,52	1,62
Farbe		4	4	4
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S, faulig	H <sub>2</sub> S, moosig	H <sub>2</sub> S, staubig
Wassertemperatur	°C	9,1	9,6	8,4
pH-Wert		6,9	6,8	6,8
Eh-Wert	mV	91	110	101
El. Leitfähigkeit	µS/cm	819	696	742
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	6,1	4,8	5,6
Basekapazität	ml	1,20	1,0	1,30
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	17,9	14,6	15,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	17,1	13,4	15,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	372,10	292,80	341,60
pε-Wert		1,5	1,9	1,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	58,74	60,64	75,38
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,06	0,05	0,03
Nitrat	mg/l	< 0,40	3,94	< 0,40
Sulfat	mg/l	< 2,00	< 2,00	2,93
Lithium	mg/l	<0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	38,04	36,31	33,69
Kalium	mg/l	9,50	6,21	2,80
Ammonium	mg/l	0,92	0,41	0,53
Calcium	mg/l	120,98	94,43	101,73
Magnesium	mg/l	4,11	5,80	5,68
Aluminium	mg/l	0,22	0,19	0,19
Mangan	mg/l	0,67	0,37	0,31
Eisen	mg/l	56,04	15,33	9,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	57,00	58,50	60,20
DOC	mg/l	29,27	21,54	22,30

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle NY8/2		R-Wert: 2581545 H-Wert: 5954430	Endtiefe [m u. ROK]: 69 Filtertiefe [m u. GOK]: 49 - 59
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,50	
Farbe		4	
Trübung		klar	
Geruch		muffig, Phenole	
Wassertemperatur	°C	9,7	
pH-Wert		7,1	
Eh-Wert	mV	22	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	796	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	6,2	
Basekapazität	ml	1,85	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	20,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	17,2	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	375,15	
pE-Wert		0,4	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,46	
Chlorid	mg/l	68,91	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,02	
Nitrat	mg/l	0,67	
Sulfat	mg/l	1,18	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	36,45	
Kalium	mg/l	4,48	
Ammonium	mg/l	0,81	
Calcium	mg/l	129,85	
Magnesium	mg/l	8,64	
Aluminium	mg/l	0,17	
Mangan	mg/l	0,20	
Eisen	mg/l	14,21	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	65,40	
DOC	mg/l	28,20	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle SN3</b>		R-Wert: 2576490 H-Wert: 5953170	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,58	3,88	3,95
Farbe		2	0	2
Trübung		klar	klar	schwach trüb
Geruch		kein	kein	kein
Wassertemperatur	°C	10,3	10,4	11,9
pH-Wert		7,3	7,2	7,1
Eh-Wert	mV	210	415	501
El. Leitfähigkeit	µS/cm	758	905	940
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	2,90	1,10	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	25	10	0
Säurekapazität	ml	4,5	4,7	4,7
Basekapazität	ml	0,35	0,55	0,75
Gesamthärte	mmol/l	2,6	3,4	3,2
	°dH	14,2	19,0	18,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	12,6	7,5	13,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	274,50	283,65	286,70
pe-Wert		3,6	7,0	8,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	52,45	91,08	98,63
Fluorid	mg/l	0,11	< 0,10	0,19
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,29	< 0,01
Nitrat	mg/l	47,04	117,68	88,28
Sulfat	mg/l	29,58	45,61	61,94
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	73,99	56,89	54,49
Kalium	mg/l	9,10	10,38	9,37
Ammonium	mg/l	< 0,03	< 0,03	< 0,03
Calcium	mg/l	75,97	121,63	145,49
Magnesium	mg/l	8,43	8,51	10,14
Aluminium	mg/l	0,10	< 0,05	< 0,05
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	44,50	77,90	101,20
DOC	mg/l	16,66	10,31	12,42

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle SN3</b>		R-Wert: 2576490 H-Wert: 5953170	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 – 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,85	3,78	3,82
Farbe		1	0	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	schwach erdig
Wassertemperatur	°C	11,2	10,7	10,4
pH-Wert		7,1	7,1	7,2
Eh-Wert	mV	335	335	276
El. Leitfähigkeit	µS/cm	>1093	>1031	989
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	2,20	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	19	0
Säurekapazität	ml	3,6	3,3	3,9
Basekapazität	ml	0,25	0,40	0,30
Gesamthärte	mmol/l	3,8	n.b.	n.b.
	°dH	21,6	25,5	16,2
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	10,1	9,2	10,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	219,60	201,30	237,90
pε-Wert		5,7	5,7	4,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	113,40	140,40	148,92
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,60	0,46	0,21
Nitrat	mg/l	65,85	104,86	65,44
Sulfat	mg/l	55,88	67,55	53,71
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	63,49	107,99	73,06
Kalium	mg/l	8,73	10,56	6,39
Ammonium	mg/l	0,40	<0,03	0,22
Calcium	mg/l	139,74	165,79	102,88
Magnesium	mg/l	10,51	9,94	7,76
Aluminium	mg/l	0,17	0,17	0,19
Mangan	mg/l	0,06	<0,05	0,04
Eisen	mg/l	<0,05	<0,05	0,20
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	75,00	36,50	56,60
DOC	mg/l	17,26	9,17	15,50

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle SN3		R-Wert: 2576490 H-Wert: 5953170	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	3,17	
Farbe		1	
Trübung		klar	
Geruch		erdig	
Wassertemperatur	°C	12,3	
pH-Wert		7,5	
Eh-Wert	mV	257	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	848	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,9	
Basekapazität	ml	0,30	
Gesamthärte	mmol/l	3,1	
	°dH	17,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	10,9	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	237,90	
pE-Wert		4,4	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	100,75	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,42	
Nitrat	mg/l	55,79	
Sulfat	mg/l	52,14	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	60,51	
Kalium	mg/l	6,29	
Ammonium	mg/l	0,14	
Calcium	mg/l	94,14	
Magnesium	mg/l	7,79	
Aluminium	mg/l	0,18	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,09	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	49,00	
DOC	mg/l	5,70	



Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle SN7</b>		R-Wert: 2577825 H-Wert: 5954310	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 7 - 9	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,05	1,45	1,60
Farbe		1	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	kein
Wassertemperatur	°C	9,7	9,4	10,2
pH-Wert		7,7	7,3	7,0
Eh-Wert	mV	229	255	330
El. Leitfähigkeit	µS/cm	721	737	752
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,10	2,10	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	19	0
Säurekapazität	ml	5,3	6,3	4,9
Basekapazität	ml	0,40	0,20	0,85
Gesamthärte	mmol/l	3,3	3,3	2,7
	°dH	18,3	18,2	14,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	14,8	9,1	13,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	323,30	384,30	295,85
pe-Wert		3,9	4,3	5,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	64,78	89,59	60,93
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	0,01
Nitrat	mg/l	1,74	0,57	1,02
Sulfat	mg/l	42,69	48,47	50,50
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	27,71	27,39	27,80
Kalium	mg/l	12,93	13,15	13,25
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,59	0,23
Calcium	mg/l	105,40	114,05	138,52
Magnesium	mg/l	12,62	14,39	13,74
Aluminium	mg/l	0,09	< 0,05	< 0,05
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	< 0,05	0,08	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	13,00	9,40	13,90
DOC	mg/l	27,59	7,78	7,44

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle SN7</b>		R-Wert: 2577825 H-Wert: 5954310	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,39	1,26	1,45
Farbe		1	0	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	kein
Wassertemperatur	°C	9,9	10,2	9,4
pH-Wert		7,4	7,5	7,5
Eh-Wert	mV	162	296	259
El. Leitfähigkeit	µS/cm	759	705	699
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	4,8	4,3	4,3
Basekapazität	ml	0,30	0,15	0,10
Gesamthärte	mmol/l	3,4	3,1	3,2
	°dH	18,8	17,2	18,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	13,4	11,9	12,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	292,80	259,25	262,30
pε-Wert		2,7	5,0	4,4
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	58,15	57,85	68,70
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,04	0,01	1,70
Nitrat	mg/l	< 0,40	7,58	< 0,40
Sulfat	mg/l	48,39	51,40	55,59
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	28,70	26,86	26,34
Kalium	mg/l	10,41	12,37	12,91
Ammonium	mg/l	1,18	0,08	0,16
Calcium	mg/l	184,14	92,11	92,92
Magnesium	mg/l	14,28	12,42	9,30
Aluminium	mg/l	0,18	0,19	0,19
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,41	0,44	0,11
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	11,00	12,00	19,10
DOC	mg/l	10,94	4,87	5,10

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle SN7		R-Wert: 2577825 H-Wert: 5954310	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,27	
Farbe		1	
Trübung		klar	
Geruch		kein	
Wassertemperatur	°C	10,6	
pH-Wert		7,7	
Eh-Wert	mV	239	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	699	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	4,2	
Basekapazität	ml	0,35	
Gesamthärte	mmol/l	3,4	
	°dH	18,6	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	11,8	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	256,20	
pE-Wert		4,0	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,13	
Chlorid	mg/l	71,71	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,04	
Nitrat	mg/l	1,07	
Sulfat	mg/l	74,32	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	50,56	
Kalium	mg/l	32,12	
Ammonium	mg/l	0,46	
Calcium	mg/l	99,30	
Magnesium	mg/l	10,66	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	0,01	
Eisen	mg/l	0,08	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n..b	
AOX	µg/l	16,30	
DOC	mg/l	14,70	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle SN11</b>		R-Wert: 2577250 H-Wert: 5953950	Endtiefe [m u. ROK]: 24 Filtertiefe [m u. GOK]: 20 - 22	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,51	4,77	3,80
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,3	10,5	11,3
pH-Wert		8,0	8,0	8,3
Eh-Wert	mV	54	-123	-79
El. Leitfähigkeit	µS/cm	873	880	846
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,20	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	0	0
Säurekapazität	ml	3,3	6,9	5,0
Basekapazität	ml	0	0,05	0,10
Gesamthärte	mmol/l	2,1	3,4	2,9
	°dH	11,6	18,8	14,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,2	9,7	13,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	201,30	420,90	301,95
p <sub>e</sub> -Wert		0,9	-2,1	-1,3
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	51,24	98,27	79,10
Fluorid	mg/l	0,20	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	0,64	2,51	< 0,40
Sulfat	mg/l	26,61	84,62	61,13
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	29,83	66,15	63,24
Kalium	mg/l	4,31	4,09	3,93
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,79	0,46
Calcium	mg/l	49,99	99,89	99,54
Magnesium	mg/l	8,43	24,26	14,99
Aluminium	mg/l	0,10	< 0,05	< 0,05
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,05	< 0,05	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	< 2,50	12,70	6,90
DOC	mg/l	21,13	22,55	7,16

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle SN11</b>		R-Wert: 2577250 H-Wert: 5953950	Endtiefe [m u. ROK]: 24 Filtertiefe [m u. GOK]: 14 - 22	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	3,63	3,86	3,39
Farbe		0	0	0
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	schwach H <sub>2</sub> S	kein
Wassertemperatur	°C	10,1	10,4	10,3
pH-Wert		7,8	8,2	8,1
Eh-Wert	mV	-10	68	110
El. Leitfähigkeit	µS/cm	675	671	> 605
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	3,4	3,5	3,3
Basekapazität	ml	0,25	0,03	0,05
Gesamthärte	mmol/l	2,6	2,5	2,6
	°dH	14,2	14,0	14,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	9,5	9,7	9,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	207,40	210,45	198,25
p <sub>ε</sub> -Wert		-0,2	1,2	1,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	73,25	74,53	71,71
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,03	0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	0,42	2,46	1,99
Sulfat	mg/l	45,64	52,49	49,57
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	43,67	41,82	35,50
Kalium	mg/l	3,82	2,43	1,62
Ammonium	mg/l	0,85	0,88	0,48
Calcium	mg/l	81,12	78,79	66,13
Magnesium	mg/l	11,65	9,82	7,35
Aluminium	mg/l	0,18	0,19	0,18
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,08	< 0,05	0,43
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	6,80	8,00	6,20
DOC	mg/l	12,76	8,70	11,40

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle SN11		R-Wert: 2577250 H-Wert: 5953950	Endtiefe [m u. ROK]: 24 Filtertiefe [m u. GOK]: 14 - 22
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	3,52	
Farbe		0	
Trübung		klar	
Geruch		kein	
Wassertemperatur	°C	11,5	
pH-Wert		8,1	
Eh-Wert	mV	10	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	612	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	3,1	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	2,9	
	°dH	16,2	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	8,7	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	189,10	
pE-Wert		0,2	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	76,36	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,01	
Nitrat	mg/l	1,16	
Sulfat	mg/l	68,31	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	41,72	
Kalium	mg/l	2,14	
Ammonium	mg/l	0,60	
Calcium	mg/l	80,34	
Magnesium	mg/l	9,33	
Aluminium	mg/l	0,17	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	< 0,05	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	n.b.	
DOC	mg/l	7,20	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle BS8</b>		R-Wert: 2579960 H-Wert: 5954985	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8-10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	n.b.	2,64	2,77
Farbe		n.b.	3	2
Trübung		n.b.	trüb	schwach trüb
Geruch		n.b.	H <sub>2</sub> S	moderig
Wassertemperatur	°C	n.b.	9,8	10,8
pH-Wert		n.b.	7,4	7,8
Eh-Wert	mV	n.b.	-46	273
El. Leitfähigkeit	µS/cm	n.b.	416	433
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	n.b.	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	n.b.	0	0
Säurekapazität	ml	n.b.	2,3	2,4
Basekapazität	ml	n.b.	0,10	0,10
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	1,4	1,3
	°dH	n.b.	7,7	7,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	n.b.	5,1	6,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	n.b.	137,25	143,35
p <sub>e</sub> -Wert		n.b.	-0,8	4,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	n.b.	63,63	47,88
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	0,03	0,02
Nitrat	mg/l	n.b.	< 0,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	n.b.	21,42	26,44
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	n.b.	25,21	26,89
Kalium	mg/l	n.b.	7,32	10,13
Ammonium	mg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
Calcium	mg/l	n.b.	46,04	43,28
Magnesium	mg/l	n.b.	9,50	7,56
Aluminium	mg/l	n.b.	< 0,05	0,05
Mangan	mg/l	n.b.	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	n.b.	1,17	0,27
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	n.b.	20,60	37,20
DOC	mg/l	n.b.	14,61	14,28

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle BS8</b>		R-Wert: 2579960 H-Wert: 5954985	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8-10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	n.b.	2,54	2,66
Farbe		n.b.	1	2
Trübung		n.b.	klar	klar
Geruch		n.b.	schwach H <sub>2</sub> S	leicht erdig
Wassertemperatur	°C	n.b.	9,9	10,3
pH-Wert		n.b.	8,1	7,9
Eh-Wert	mV	n.b.	248	267
El. Leitfähigkeit	µS/cm	n.b.	414	384
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	n.b.	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	n.b.	0	0
Säurekapazität	ml	n.b.	2,1	2,1
Basekapazität	ml	n.b.	0,03	0,05
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	1,2	12,5
	°dH	n.b.	6,8	7
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	n.b.	5,9	5,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	n.b.	128,10	128,10
p <sub>e</sub> -Wert		n.b.	4,2	4,5
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	n.b.	50,06	44,60
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	0,12	0,58
Nitrat	mg/l	n.b.	3,42	0,18
Sulfat	mg/l	n.b.	26,92	22,67
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	n.b.	23,79	23,92
Kalium	mg/l	n.b.	7,34	6,75
Ammonium	mg/l	n.b.	< 0,03	0,14
Calcium	mg/l	n.b.	39,79	34,85
Magnesium	mg/l	n.b.	7,20	5,70
Aluminium	mg/l	n.b.	0,19	0,17
Mangan	mg/l	n.b.	< 0,05	0,06
Eisen	mg/l	n.b.	0,12	0,19
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	n.b.	27,60	34,70
DOC	mg/l	n.b.	12,52	16,90



Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle BS8		R-Wert: 2579960 H-Wert: 5954985	Endtiefe [m u. ROK]: 11 Filtertiefe [m u. GOK]: 8-10
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,62	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		erdig	
Wassertemperatur	°C	11,5	
pH-Wert		8,2	
Eh-Wert	mV	103	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	361	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,0	
Basekapazität	ml	0	
Gesamthärte	mmol/l	1,3	
	°dH	7,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	5,5	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	118,95	
pE-Wert		1,7	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	38,68	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,03	
Nitrat	mg/l	1,10	
Sulfat	mg/l	27,10	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	26,16	
Kalium	mg/l	6,14	
Ammonium	mg/l	0,20	
Calcium	mg/l	33,79	
Magnesium	mg/l	5,54	
Aluminium	mg/l	0,20	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,41	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	32,30	
DOC	mg/l	11,60	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle BS11</b>		R-Wert: 2578520 H-Wert: 5954290	Endtiefe [m u. ROK]: 28 Filtertiefe [m u. GOK]: 25 - 27	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,00	2,25	2,40
Farbe		0	2	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,7	9,8	9,8
pH-Wert		6,9	7,8	7,5
Eh-Wert	mV	n.b.	-154	-116
El. Leitfähigkeit	µS/cm	287	498	414
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,10	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	9	0	0
Säurekapazität	ml	1,2	4,5	3,2
Basekapazität	ml	0,10	< 0,05	0,60
Gesamthärte	mmol/l	0,8	1,2	1,0
	°dH	4,4	6,4	4,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	3,4	7,3	9,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	73,20	274,50	195,20
pe-Wert		n.b.	-2,6	-2,0
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	43,95	42,79	33,62
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,35	0,20
Nitrit	mg/l	0,02	< 0,01	0,01
Nitrat	mg/l	0,53	< 0,40	0,57
Sulfat	mg/l	18,73	3,47	9,31
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	27,36	46,46	37,60
Kalium	mg/l	2,55	22,50	13,02
Ammonium	mg/l	< 0,03	3,05	1,25
Calcium	mg/l	18,51	22,60	17,04
Magnesium	mg/l	4,64	24,81	13,89
Aluminium	mg/l	0,08	< 0,05	0,05
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	2,06	< 0,05	< 0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	47,00	6,30	36,70
DOC	mg/l	10,24	13,44	10,15

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle BS11</b>		R-Wert: 2578520 H-Wert: 5954290	Endtiefe [m u. ROK]: 28 Filtertiefe [m u. GOK]: 25 - 27	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,20	2,30	2,35
Farbe		3	2	2
Trübung		klar	sehr schwach trüb	schwach trüb
Geruch		sehr schwach H <sub>2</sub> S	kein	schwach erdig
Wassertemperatur	°C	9,6	10,4	10,0
pH-Wert		7,2	7,4	7,2
Eh-Wert	mV	-19	336	253
El. Leitfähigkeit	µS/cm	290	248	276
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	1,3	0,7	0,7
Basekapazität	ml	0,40	0,30	0,35
Gesamthärte	mmol/l	0,7	1,1	0,6
	°dH	3,7	6,2	3,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	3,5	2,0	1,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	76,25	42,70	39,65
pε-Wert		-0,3	5,7	4,3
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	37,75	42,11	52,03
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,04	0,02	0,03
Nitrat	mg/l	< 0,40	4,11	< 0,40
Sulfat	mg/l	9,31	10,87	14,05
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	25,80	24,73	31,22
Kalium	mg/l	1,93	1,68	1,73
Ammonium	mg/l	0,33	0,13	0,20
Calcium	mg/l	18,69	13,93	29,95
Magnesium	mg/l	2,32	3,52	3,37
Aluminium	mg/l	0,19	0,18	0,14
Mangan	mg/l	0,10	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	5,18	2,80	2,19
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	31,90	31,40	25,20
DOC	mg/l	7,19	7,82	7,20

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle BS11		R-Wert: 2578520 H-Wert: 5954290	Endtiefe [m u. ROK]: 28 Filtertiefe [m u. GOK]: 25 - 27
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,17	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		erdig	
Wassertemperatur	°C	11,1	
pH-Wert		7,1	
Eh-Wert	mV	176	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	274	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	0,9	
Basekapazität	ml	1,15	
Gesamthärte	mmol/l	0,9	
	°dH	5,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	2,5	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	54,90	
pε-Wert		3,0	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	45,59	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	< 0,01	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	16,58	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	23,92	
Kalium	mg/l	1,27	
Ammonium	mg/l	0,34	
Calcium	mg/l	13,48	
Magnesium	mg/l	4,79	
Aluminium	mg/l	0,26	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	4,26	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	28,90	
DOC	mg/l	10,10	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle BS13</b>		R-Wert: 2580490 H-Wert: 5953700	Endtiefe [m u. ROK]: 32 Filtertiefe [m u. GOK]: 27 - 29	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,60	1,89	1,95
Farbe		2	2	1
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	kein	schwach H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	6,3	9,5	10,2
pH-Wert		7,5	7,2	7,2
Eh-Wert	mV	117	132	9
El. Leitfähigkeit	µS/cm	404	412	404
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,40	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	0	0
Säurekapazität	ml	1,6	2,8	2,6
Basekapazität	ml	0,05	0,25	0,25
Gesamthärte	mmol/l	1,0	1,4	1,0
	°dH	5,5	7,0	6,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	4,5	5,6	7,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	97,60	170,80	155,55
p <sub>e</sub> -Wert		2,0	2,2	0,2
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	50,88	63,82	41,27
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,02	< 0,01
Nitrat	mg/l	1,69	< 0,40	0,48
Sulfat	mg/l	16,50	25,33	12,87
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	39,96	32,26	27,79
Kalium	mg/l	4,42	5,10	8,22
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,19	0,67
Calcium	mg/l	40,94	43,59	32,96
Magnesium	mg/l	6,91	8,50	9,71
Aluminium	mg/l	0,06	< 0,05	0,05
Mangan	mg/l	< 0,05	0,10	< 0,05
Eisen	mg/l	1,26	0,94	0,76
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	35,70	26,30	14,50
DOC	mg/l	19,44	17,13	14,31

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle BS13</b>		R-Wert: 2580490 H-Wert: 5953700	Endtiefe [m u. ROK]: 32 Filtertiefe [m u. GOK]: 27 - 29	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,92	1,87	2,00
Farbe		2	1	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	kein	kein
Wassertemperatur	°C	9,5	10,5	9,8
pH-Wert		7,4	7,3	7,1
Eh-Wert	mV	55	95	225
El. Leitfähigkeit	µS/cm	402	392	377
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,0	2,3	2,2
Basekapazität	ml	0,50	0,15	0,05
Gesamthärte	mmol/l	1,2	1,2	1,2
	°dH	6,7	6,8	7,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	5,5	6,4	6,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	118,95	140,30	134,20
pε-Wert		0,9	1,6	3,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	41,17	38,93	51,04
Fluorid	mg/l	< 0,10	0,21	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,02	0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	3,49	4,02
Sulfat	mg/l	12,64	8,62	16,41
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	27,36	26,81	31,22
Kalium	mg/l	4,42	5,16	1,73
Ammonium	mg/l	0,58	0,68	0,20
Calcium	mg/l	37,61	33,60	29,95
Magnesium	mg/l	7,31	8,61	3,37
Aluminium	mg/l	0,17	0,20	0,14
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	1,38	0,95	2,19
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	17,40	17,30	18,50
DOC	mg/l	18,01	12,77	14,00

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
<b>Messstelle BS13</b>		R-Wert: 2580490 H-Wert: 5953700	Endtiefe [m u. ROK]: 32 Filtertiefe [m u. GOK]: 27 - 29
Zeitraum der Probennahme:		<b>20. – 23.08.2001</b>	
<b>Gelände:</b>			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,89	
Farbe		2	
Trübung		klar	
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	11,0	
pH-Wert		7,9	
Eh-Wert	mV	-24	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	390	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,6	
Basekapazität	ml	0,05	
Gesamthärte	mmol/l	1,4	
	°dH	8,0	
<b>Berechnungen:</b>			
Karbonathärte	°dH	7,3	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	158,60	
pE-Wert		-0,4	
<b>Labor:</b>			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	42,05	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	< 0,01	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	11,95	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	26,36	
Kalium	mg/l	6,22	
Ammonium	mg/l	0,60	
Calcium	mg/l	35,37	
Magnesium	mg/l	9,96	
Aluminium	mg/l	0,16	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	1,82	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	13,30	
DOC	mg/l	8,50	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle B37/3</b>		R-Wert: 2580350 H-Wert: 5954320	Endtiefe [m u. ROK]: 90 Filtertiefe [m u. GOK]: 43 - 45	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,63	2,17	2,14
Farbe		0	1	2
Trübung		klar	klar	klar
Geruch		kein	stark H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,8	9,5	9,8
pH-Wert		8,1	7,5	8,3
Eh-Wert	mV	185	-37	-158
El. Leitfähigkeit	µS/cm	347	424	427
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	1,6	3,0	2,6
Basekapazität	ml	0,05	0,05	0,05
Gesamthärte	mmol/l	0,8	1,5	1,0
	°dH	4,4	8,2	4,9
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	4,8	5,8	7,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	103,70	183,00	155,55
p <sub>e</sub> -Wert		3,1	-0,6	-2,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	0,25	< 0,20
Chlorid	mg/l	33,54	56,07	40,03
Fluorid	mg/l	0,11	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,01	0,01	< 0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	1,02	< 0,40
Sulfat	mg/l	17,26	19,67	21,38
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	23,82	28,22	29,17
Kalium	mg/l	7,17	8,49	8,95
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,18	0,40
Calcium	mg/l	24,23	28,28	28,62
Magnesium	mg/l	15,95	16,12	16,40
Aluminium	mg/l	0,09	< 0,05	0,05
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,14	0,14	0,05
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	31,20	11,90	14,60
DOC	mg/l	18,58	14,41	9,23



Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle B37/3</b>		R-Wert: 2580350 H-Wert: 5954320	Endtiefe [m u. ROK]: 46 Filtertiefe [m u. GOK]: 43 - 45	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	2,04	1,92	2,07
Farbe		3	0	1
Trübung		sehr schwach trüb	schwach trüb	schwach trüb
Geruch		fischig, H <sub>2</sub> S	kein	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,7	10,2	8,6
pH-Wert		8,0	8,0	8,3
Eh-Wert	mV	60	87	-23
El. Leitfähigkeit	µS/cm	380	384	434
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	2,3	2,0	2,8
Basekapazität	ml	0,10	0,05	0
Gesamthärte	mmol/l	1,2	1,3	1,6
	°dH	6,4	7,2	8,8
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	6,4	5,6	7,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	140,30	122,00	170,80
p <sub>e</sub> -Wert		1,0	1,5	-0,4
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	36,47	39,17	48,80
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	< 0,01	0,02	< 0,01
Nitrat	mg/l	< 0,40	3,22	< 0,40
Sulfat	mg/l	21,83	22,91	21,05
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	26,62	26,32	27,14
Kalium	mg/l	6,60	6,72	5,85
Ammonium	mg/l	0,51	0,31	0,64
Calcium	mg/l	23,52	23,20	26,30
Magnesium	mg/l	13,29	13,58	14,22
Aluminium	mg/l	0,17	0,17	0,19
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	0,11	0,05	0,19
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	10,60	11,50	13,60
DOC	mg/l	3,05	7,60	13,70

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle B37/3		R-Wert: 2580350	Endtiefe [m u. ROK]: 46
		H-Wert: 5954320	Filtertiefe [m u. GOK]: 42 - 44
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	2,05	
Farbe		1	
Trübung		klar	
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	10,4	
pH-Wert		8,3	
Eh-Wert	mV	-49	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	431	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	2,7	
Basekapazität	ml	0	
Gesamthärte	mmol/l	1,6	
	°dH	9,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	7,6	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	164,70	
pE-Wert		-0,8	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,25	
Chlorid	mg/l	46,23	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	< 0,01	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	23,06	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	28,67	
Kalium	mg/l	6,10	
Ammonium	mg/l	0,70	
Calcium	mg/l	26,47	
Magnesium	mg/l	15,15	
Aluminium	mg/l	0,19	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,05	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	14,90	
DOC	mg/l	8,50	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle B37/4</b>		R-Wert: 2580070 H-Wert: 5954325	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,51	2,03	2,10
Farbe		3	2	3
Trübung		schwach trüb	schwach trüb	schwach trüb
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,3	9,6	9,9
pH-Wert		7,6	7,6	7,8
Eh-Wert	mV	100	-46	-100
El. Leitfähigkeit	µS/cm	920	856	880
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	5,7	0,3	5,7
Basekapazität	ml	0,30	0,15	0,10
Gesamthärte	mmol/l	2,8	2,9	2,4
	°dH	15,4	16,2	13,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	16,0	3,1	15,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	347,70	18,30	344,65
pe-Wert		1,7	-0,8	-1,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	0,25
Chlorid	mg/l	56,54	119,43	100,68
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	0,13
Nitrit	mg/l	0,05	0,01	0,01
Nitrat	mg/l	0,56	1,40	< 0,40
Sulfat	mg/l	17,66	44,18	17,79
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	85,93	84,01	84,56
Kalium	mg/l	8,92	9,57	9,94
Ammonium	mg/l	< 0,03	0,35	0,10
Calcium	mg/l	74,10	77,90	71,89
Magnesium	mg/l	17,03	18,31	19,33
Aluminium	mg/l	0,07	0,05	0,06
Mangan	mg/l	0,22	0,16	< 0,05
Eisen	mg/l	1,52	0,56	0,69
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	44,60	43,80	37,20
DOC	mg/l	36,45	18,05	12,70

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle B37/4</b>		R-Wert: 2580070 H-Wert: 5954325	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	1,96	1,83	1,93
Farbe		4	2	3
Trübung		trüb	schwach trüb	schwach trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	sehr schwach H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	10,1	10,6	8,6
pH-Wert		7,8	7,8	7,7
Eh-Wert	mV	87	63	-5
El. Leitfähigkeit	µS/cm	896	>870	867
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	0	0
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	0	0
Säurekapazität	ml	6,3	5,6	5,3
Basekapazität	ml	0,10	0,15	0,20
Gesamthärte	mmol/l	2,7	2,8	3,4
	°dH	15,0	15,4	18,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	17,5	15,7	14,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	381,25	341,60	320,25
pε-Wert		1,5	1,1	-0,1
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	93,28	101,90	125,26
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,02	0,02	0,02
Nitrat	mg/l	< 0,40	8,19	< 0,40
Sulfat	mg/l	15,59	14,04	31,60
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	83,92	81,53	72,72
Kalium	mg/l	8,40	9,43	4,07
Ammonium	mg/l	0,62	0,42	0,69
Calcium	mg/l	73,49	73,95	71,31
Magnesium	mg/l	19,32	21,08	18,03
Aluminium	mg/l	0,18	0,20	0,20
Mangan	mg/l	0,22	0,13	0,09
Eisen	mg/l	1,42	1,37	1,19
Kupfer	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nickel	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Zink	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Cobalt	µg/l	n.b.	n.b.	n.b.
AOX	µg/l	36,60	32,70	46,00
DOC	mg/l	17,64	10,43	16,60

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle B37/4		R-Wert: 2580070 H-Wert: 5954325	Endtiefe [m u. ROK]: Filtertiefe [m u. GOK]: 8 - 10
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	1,94	
Farbe		3	
Trübung		klar	
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	10,0	
pH-Wert		7,9	
Eh-Wert	mV	-23	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	870	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	5,3	
Basekapazität	ml	0,10	
Gesamthärte	mmol/l	3,5	
	°dH	20,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	14,8	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	323,30	
pE-Wert		-0,4	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,57	
Chlorid	mg/l	106,80	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	< 0,01	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	22,22	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	72,11	
Kalium	mg/l	7,07	
Ammonium	mg/l	0,91	
Calcium	mg/l	78,69	
Magnesium	mg/l	23,93	
Aluminium	mg/l	0,17	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,48	
Kupfer	µg/l	n.b.	
Nickel	µg/l	n.b.	
Zink	µg/l	n.b.	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	36,80	
DOC	mg/l	21,40	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N3</b>		R-Wert: H-Wert:	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	n.b.	0,24	0,34
Farbe		n.b.	5	5
Trübung		n.b.	stark trüb	stark trüb
Geruch		n.b.	erdig	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	n.b.	11,6	14,0
pH-Wert		n.b.	6,3	6,3
Eh-Wert	mV	n.b.	-21	-49
El. Leitfähigkeit	µS/cm	n.b.	195	176
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	n.b.	1,50	1,60
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	n.b.	13	16
Säurekapazität	ml	n.b.	0,8	0,4
Basekapazität	ml	n.b.	1,55	0,55
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	0,8	0,6
	°dH	n.b.	4,5	4,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	n.b.	3,6	1,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	n.b.	48,80	24,40
pe-Wert		n.b.	-0,4	-0,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	n.b.	45,50	31,00
Fluorid	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	n.b.	12,28	28,47
Phosphat	mg/l	n.b.	4,29	0,33
Lithium	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	n.b.	21,15	18,15
Kalium	mg/l	n.b.	6,12	2,77
Ammonium	mg/l	n.b.	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	n.b.	15,98	4,24
Magnesium	mg/l	n.b.	9,94	5,16
Aluminium	mg/l	n.b.	0,55	0,80
Mangan	mg/l	n.b.	0,14	< 0,05
Eisen	mg/l	n.b.	15,89	1,70
Kupfer	µg/l	n.b.	0,02	< 0,01
Nickel	µg/l	n.b.	0,05	< 0,02
Zink	µg/l	n.b.	0,33	< 0,01
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	n.b.	11,10	7,40
DOC	mg/l	n.b.	10,98	5,03

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N3</b>		R-Wert: H-Wert:	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,28	0,28	0,33
Farbe		1	1	1
Trübung		klar, Schimmel	klar, Schimmel	klar, Schimmel
Geruch		H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,5	5,8	9,9
pH-Wert		5,8	6,4	6,4
Eh-Wert	mV	222	135	173
El. Leitfähigkeit	µS/cm	194	215	240
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,00	0,60	1,00
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	9	5	9
Säurekapazität	ml	0,4	0,8	0,4
Basekapazität	ml	0,70	0,45	0,60
Gesamthärte	mmol/l	0,4	0,4	n.b.
	°dH	2,2	2,2	1,5
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	1,0	2,1	1,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	21,35	45,75	24,40
pe-Wert		3,8	2,3	2,9
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	52,52	34,48	40,58
Fluorid	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	0,06	0,01	0,03
Nitrat	mg/l	< 0,40	14,39	0,52
Sulfat	mg/l	22,40	12,38	12,59
Phosphat	mg/l	< 0,10	< 0,10	0,44
Lithium	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	22,43	22,00	21,33
Kalium	mg/l	2,44	2,56	3,19
Ammonium	mg/l	0,17	0,20	0,12
Calcium	mg/l	4,45	4,26	4,22
Magnesium	mg/l	4,92	5,07	3,83
Aluminium	mg/l	0,26	0,43	0,56
Mangan	mg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Eisen	mg/l	1,21	0,98	0,60
Kupfer	µg/l	< 0,01	< 0,01	n.b.
Nickel	µg/l	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Zink	µg/l	0,03	< 0,01	0,04
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	n.b.
AOX	µg/l	23,60	43,80	18,50
DOC	mg/l	9,70	10,36	8,80

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle N3		R-Wert: H-Wert:	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,38	
Farbe		1	
Trübung		leicht trüb	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	15,5	
pH-Wert		6,3	
Eh-Wert	mV	90	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	155	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	2,40	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	24	
Säurekapazität	ml	0,3	
Basekapazität	ml	0,50	
Gesamthärte	mmol/l	0,6	
	°dH	5,8	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	0,8	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	18,30	
pε-Wert		1,5	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,62	
Chlorid	mg/l	39,86	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,03	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	10,63	
Phosphat	mg/l	0,20	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	18,56	
Kalium	mg/l	2,40	
Ammonium	mg/l	0,23	
Calcium	mg/l	2,88	
Magnesium	mg/l	2,74	
Aluminium	mg/l	< 0,05	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	0,42	
Kupfer	µg/l	0,04	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,01	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	8,70	
DOC	mg/l	10,40	



Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N7</b>		R-Wert: 2578959 H-Wert: 5953798	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,32	0,61	0,82
Farbe		5	4	4
Trübung		stark trüb	stark trüb	stark trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	leicht H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	5,8	11,6	15,0
pH-Wert		5,8	5,9	6,3
Eh-Wert	mV	181	-16	0
El. Leitfähigkeit	µS/cm	187	228	226
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,30	0,90	1,80
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	8	18
Säurekapazität	ml	0,9	1,0	1,1
Basekapazität	ml	1,90	2,30	1,60
Gesamthärte	mmol/l	0,4	0,5	0,7
	°dH	2,2	2,6	4,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	2,5	3,8	2,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	54,90	61,00	64,05
pe-Wert		3,1	-0,3	0
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	33,65	40,00	32,00
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	0,05	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	0,14	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	< 2,00	4,55	4,44
Phosphat	mg/l	n.b.	3,28	1,60
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	16,58	19,36	17,85
Kalium	mg/l	2,99	4,12	3,30
Ammonium	mg/l	0,12	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	7,17	8,08	6,30
Magnesium	mg/l	5,19	5,19	4,72
Aluminium	mg/l	0,29	5,39	2,87
Mangan	mg/l	0,42	0,30	0,30
Eisen	mg/l	28,62	23,68	22,64
Kupfer	µg/l	n.b.	0,02	< 0,01
Nickel	µg/l	n.b.	0,03	< 0,02
Zink	µg/l	n.b.	0,21	0,08
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	70,10	81,40	83,40
DOC	mg/l	27,75	30,39	18,80

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N7</b>		R-Wert: 2578959 H-Wert: 5953798	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,70	0,59	0,67
Farbe		4	4	4
Trübung		trüb, Flocken	trüb	klar, Schwebstoffe
Geruch		erdig	algig	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	8,9	4,7	9,7
pH-Wert		6,7	6,3	6,1
Eh-Wert	mV	255	399	96
El. Leitfähigkeit	µS/cm	188	265	248
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,40	1,30	1,10
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	12	11	9
Säurekapazität	ml	0,7	0,8	0,8
Basekapazität	ml	1,10	1,30	1,30
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	1,7	1,7	1,4
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	1,8	2,2	2,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	39,65	48,80	48,80
p <sub>e</sub> -Wert		4,3	6,8	1,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	49,77	37,60	39,68
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	0,04	0,05
Nitrat	mg/l	n.b.	9,93	< 0,40
Sulfat	mg/l	2,35	3,73	3,15
Phosphat	mg/l	1,41	1,46	1,07
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	17,60	18,04	19,93
Kalium	mg/l	2,06	2,02	2,99
Ammonium	mg/l	n.b.	0,19	0,38
Calcium	mg/l	5,28	4,80	4,40
Magnesium	mg/l	4,24	4,23	3,38
Aluminium	mg/l	1,17	1,05	0,91
Mangan	mg/l	0,26	0,21	0,30
Eisen	mg/l	31,36	20,51	13,21
Kupfer	µg/l	< 0,01	< 0,01	n.b.
Nickel	µg/l	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Zink	µg/l	0,04	0,06	0,05
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	n.b.
AOX	µg/l	69,10	56,70	102,00
DOC	mg/l	9,45	21,67	21,50

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle N7		R-Wert: 2578959 H-Wert: 5953798	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,65	
Farbe		4	
Trübung		klar	
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	16,4	
pH-Wert		6,1	
Eh-Wert	mV	117	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	213	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,00	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	
Säurekapazität	ml	0,6	
Basekapazität	ml	1,40	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	n.b.	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	1,7	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	36,60	
pε-Wert		2,0	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,22	
Chlorid	mg/l	38,28	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,06	
Nitrat	mg/l	0,11	
Sulfat	mg/l	5,00	
Phosphat	mg/l	0,92	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	21,54	
Kalium	mg/l	3,09	
Ammonium	mg/l	0,50	
Calcium	mg/l	3,68	
Magnesium	mg/l	3,75	
Aluminium	mg/l	0,08	
Mangan	mg/l	0,12	
Eisen	mg/l	12,98	
Kupfer	µg/l	< 0,01	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,04	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	105,80	
DOC	mg/l	27,30	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N9</b>		R-Wert: 2580000 H-Wert: 5954487	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,38	0,74	0,90
Farbe		2	4	4
Trübung		schwach trüb	stark trüb	stark trüb
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	erdig	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	6,1	11,4	14,5
pH-Wert		6,4	8,2	6,5
Eh-Wert	mV	212	200	157
El. Leitfähigkeit	µS/cm	176	234	206
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,90	0	1,30
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	7	0	13
Säurekapazität	ml	1,4	1,6	1,3
Basekapazität	ml	0,20	0,45	0,45
Gesamthärte	mmol/l	0,6	1,0	0,7
	°dH	3,2	5,6	4,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	3,9	4,4	3,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	85,40	97,60	79,30
p <sub>e</sub> -Wert		3,6	3,4	2,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	24,13	29,50	24,00
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	< 0,01	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	0,11	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	9,64	15,70	37,65
Phosphat	mg/l	n.b.	5,12	3,54
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	14,75	17,37	12,23
Kalium	mg/l	3,25	7,58	5,07
Ammonium	mg/l	0,16	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	17,13	28,77	28,38
Magnesium	mg/l	4,43	6,80	6,62
Aluminium	mg/l	0,20	6,92	5,18
Mangan	mg/l	< 0,05	0,39	0,36
Eisen	mg/l	1,65	20,26	13,71
Kupfer	µg/l	n.b.	0,02	< 0,01
Nickel	µg/l	n.b.	0,08	0,03
Zink	µg/l	n.b.	0,42	0,25
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	38,50	37,20	17,20
DOC	mg/l	22,03	48,19	6,71

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N9</b>		R-Wert: 2580000 H-Wert: 5954487	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,67	0,56	0,70
Farbe		1	3	2
Trübung		trüb	trüb	leicht trüb
Geruch		schwach H <sub>2</sub> S	metallisch	leicht erdig
Wassertemperatur	°C	8,9	5,3	9,9
pH-Wert		6,3	7,0	6,7
Eh-Wert	mV	278	272	284
El. Leitfähigkeit	µS/cm	195	202	178
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,90	1,80	9,40
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	8	15	87
Säurekapazität	ml	0,8	0,8	0,8
Basekapazität	ml	0,40	0,55	0,20
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	0,5	n.b.
	°dH	3,2	2,8	2,1
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	2,1	2,1	2,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	45,75	45,75	48,80
p <sub>e</sub> -Wert		4,7	4,6	4,8
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	37,14	23,51	20,20
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	0,01	0,05
Nitrat	mg/l	n.b.	14,27	0,45
Sulfat	mg/l	8,24	10,79	12,44
Phosphat	mg/l	2,89	1,84	4,03
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	14,42	14,89	12,53
Kalium	mg/l	3,32	2,79	2,24
Ammonium	mg/l	n.b.	0,14	0,19
Calcium	mg/l	14,60	10,33	9,41
Magnesium	mg/l	4,91	4,32	3,50
Aluminium	mg/l	1,39	0,76	1,51
Mangan	mg/l	0,18	0,10	0,13
Eisen	mg/l	22,77	9,26	12,54
Kupfer	µg/l	< 0,01	0,12	n.b.
Nickel	µg/l	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Zink	µg/l	0,07	0,02	0,05
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	n.b.
AOX	µg/l	18,80	21,40	45,00
DOC	mg/l	4,97	7,13	8,50

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle N9		R-Wert: 2580000 H-Wert: 5954487	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,77	
Farbe		2	
Trübung		leicht trüb	
Geruch		erdig	
Wassertemperatur	°C	16,9	
pH-Wert		6,7	
Eh-Wert	mV	216	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	175	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	6,40	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	64	
Säurekapazität	ml	0,9	
Basekapazität	ml	0,30	
Gesamthärte	mmol/l	0,6	
	°dH	3,6	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	2,5	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	54,90	
pε-Wert		3,7	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	21,01	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,07	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	10,63	
Phosphat	mg/l	1,67	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	13,36	
Kalium	mg/l	3,08	
Ammonium	mg/l	0,19	
Calcium	mg/l	9,44	
Magnesium	mg/l	3,73	
Aluminium	mg/l	0,41	
Mangan	mg/l	0,05	
Eisen	mg/l	4,06	
Kupfer	µg/l	0,39	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,05	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	36,80	
DOC	mg/l	13,70	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N17</b>		R-Wert: 2580603 H-Wert: 5954414	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,40	0,72	0,94
Farbe		4	4	4
Trübung		schwach trüb	trüb	stark trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	6,0	12,5	15,3
pH-Wert		5,2	5,4	5,7
Eh-Wert	mV	275	-27	-37
El. Leitfähigkeit	µS/cm	245	369	342
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0,50	0,30	1,30
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	4	3	13
Säurekapazität	ml	0,5	0,5	0,6
Basekapazität	ml	4,40	0,55	2,0
Gesamthärte	mmol/l	0,5	0,4	0,5
	°dH	2,8	2,0	2,3
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	1,4	4,7	1,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	30,50	30,50	36,60
p <sub>e</sub> -Wert		4,7	-0,5	-0,6
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	56,06	87,00	61,00
Fluorid	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	0,25	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	0,11	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	3,74	29,99	70,40
Phosphat	mg/l	n.b.	1,59	4,00
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	23,04	33,37	40,36
Kalium	mg/l	3,82	4,37	5,78
Ammonium	mg/l	0,13	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	7,89	5,38	8,95
Magnesium	mg/l	6,94	5,47	6,37
Aluminium	mg/l	0,61	2,31	7,74
Mangan	mg/l	0,85	0,07	0,11
Eisen	mg/l	42,17	14,18	19,70
Kupfer	µg/l	n.b.	0,01	< 0,01
Nickel	µg/l	n.b.	0,04	< 0,02
Zink	µg/l	n.b.	0,06	0,11
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	88,80	110,30	93,00
DOC	mg/l	57,24	16,70	55,92

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N17</b>		R-Wert: 2580603 H-Wert: 5954414	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,89	0,70	0,75
Farbe		5	5	5
Trübung		schwach trüb	schwach trüb	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S	stark H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	9,3	5,2	10,8
pH-Wert		5,8	5,4	5,4
Eh-Wert	mV	229	179	102
El. Leitfähigkeit	µS/cm	348	445	379
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,50	1,10	3,10
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	14	9	30
Säurekapazität	ml	0,8	0,4	0,5
Basekapazität	ml	2,80	2,50	1,35
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	2,4	2,8	1,6
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	2,1	1,1	1,4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	45,75	24,40	30,50
p <sub>e</sub> -Wert		3,9	3,0	1,7
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	118,03	89,87	78,82
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	0,08	0,08
Nitrat	mg/l	n.b.	3,26	< 0,40
Sulfat	mg/l	10,30	15,67	30,60
Phosphat	mg/l	3,03	1,27	0,62
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	44,15	42,96	47,34
Kalium	mg/l	3,91	3,25	1,56
Ammonium	mg/l	n.b.	0,08	0,32
Calcium	mg/l	6,91	6,63	3,87
Magnesium	mg/l	6,02	8,14	4,36
Aluminium	mg/l	6,74	3,50	2,16
Mangan	mg/l	0,10	0,09	0,07
Eisen	mg/l	19,98	18,00	7,42
Kupfer	µg/l	< 0,01	0,02	n.b.
Nickel	µg/l	0,03	0,02	< 0,02
Zink	µg/l	0,10	0,12	0,08
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	n.b.
AOX	µg/l	145,20	177,70	154,20
DOC	mg/l	91,00	57,37	53,60



Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle N17		R-Wert: 2580603 H-Wert: 5954414	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,79	
Farbe		5	
Trübung		trüb	
Geruch		stark H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	15,8	
pH-Wert		5,7	
Eh-Wert	mV	108	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	399	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	1,10	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	10	
Säurekapazität	ml	0,5	
Basekapazität	ml	1,70	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	1,0	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	1,4	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	30,50	
pε-Wert		1,8	
Labor:			
Bromid	mg/l	< 0,20	
Chlorid	mg/l	75,88	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,12	
Nitrat	mg/l	0,40	
Sulfat	mg/l	18,82	
Phosphat	mg/l	1,47	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	45,58	
Kalium	mg/l	2,91	
Ammonium	mg/l	0,34	
Calcium	mg/l	2,93	
Magnesium	mg/l	2,64	
Aluminium	mg/l	1,81	
Mangan	mg/l	< 0,05	
Eisen	mg/l	6,96	
Kupfer	µg/l	0,02	
Nickel	µg/l	< 0,02	
Zink	µg/l	0,07	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	150,80	
DOC	mg/l	55,40	

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N18</b>		R-Wert: 2581447 H-Wert: 5954639	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>17. - 19.01.2000</b>	<b>22. - 25.05.2000</b>	<b>28. - 30.08.2000</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,57	0,75	1,0
Farbe		5	5	5
Trübung		trüb	stark trüb	trüb
Geruch		H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	6,2	12,3	15,8
pH-Wert		5,6	5,8	6,2
Eh-Wert	mV	211	-15	-7
El. Leitfähigkeit	µS/cm	383	801	491
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	4,40	3,00	5,40
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	36	28	54
Säurekapazität	ml	1,1	1,1	1,5
Basekapazität	ml	3,15	2,25	1,75
Gesamthärte	mmol/l	0,5	1,2	0,7
	°dH	2,4	6,8	4,0
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	3,1	3,9	4,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	67,10	67,10	88,45
pe-Wert		3,6	-0,3	-0,1
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	< 0,20	n.b.	n.b.
Chlorid	mg/l	87,05	210,00	81,00
Fluorid	mg/l	0,23	n.b.	n.b.
Nitrit	mg/l	0,05	n.b.	n.b.
Nitrat	mg/l	0,70	n.b.	n.b.
Sulfat	mg/l	27,07	53,63	73,45
Phosphat	mg/l	n.b.	5,21	2,56
Lithium	mg/l	< 0,10	n.b.	n.b.
Natrium	mg/l	57,79	80,86	58,68
Kalium	mg/l	7,26	9,40	5,00
Ammonium	mg/l	0,13	n.b.	n.b.
Calcium	mg/l	7,84	22,12	9,89
Magnesium	mg/l	5,79	15,99	5,85
Aluminium	mg/l	0,94	7,25	2,87
Mangan	mg/l	0,21	0,36	0,14
Eisen	mg/l	9,48	36,92	18,47
Kupfer	µg/l	n.b.	0,01	< 0,01
Nickel	µg/l	n.b.	0,04	< 0,02
Zink	µg/l	n.b.	0,42	0,11
Cobalt	µg/l	n.b.	< 0,03	< 0,03
AOX	µg/l	68,90	56,80	68,10
DOC	mg/l	121,50	13,64	20,13

Beprobung Norderney, TK 25: 2209				
<b>Messstelle N18</b>		R-Wert: 2581447 H-Wert: 5954639	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2	
Zeitraum der Probennahme:		<b>27. – 29.11.2000</b>	<b>29.01.-01.02.2001</b>	<b>07. – 10.05.2001</b>
<b>Gelände:</b>				
Grundwasserstand	m u. ROK	0,90	0,78	0,84
Farbe		4	3	4
Trübung		trüb, Flocken	trüb	klar
Geruch		H <sub>2</sub> S	schwach H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S
Wassertemperatur	°C	7,9	5,3	8,8
pH-Wert		6,3	5,5	5,9
Eh-Wert	mV	125	241	185
El. Leitfähigkeit	µS/cm	688	637	544
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	2,40	0,50	2,10
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	22	4	17
Säurekapazität	ml	0,3	0,4	0,8
Basekapazität	ml	1,8	1,70	1,55
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	n.b.	n.b.
	°dH	2,8	2,5	1,7
<b>Berechnungen:</b>				
Karbonathärte	°dH	7,0	1,0	2,1
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	18,30	21,35	45,75
pe-Wert		2,1	4,1	3,1
<b>Labor:</b>				
Bromid	mg/l	n.b.	< 0,20	< 0,20
Chlorid	mg/l	262,70	134,61	124,13
Fluorid	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Nitrit	mg/l	n.b.	0,02	0,03
Nitrat	mg/l	n.b.	3,26	< 0,40
Sulfat	mg/l	15,59	20,38	35,01
Phosphat	mg/l	1,20	1,14	0,62
Lithium	mg/l	n.b.	< 0,10	< 0,10
Natrium	mg/l	77,11	77,88	77,88
Kalium	mg/l	4,94	3,96	4,30
Ammonium	mg/l	n.b.	0,06	0,22
Calcium	mg/l	6,80	4,92	3,89
Magnesium	mg/l	8,03	7,68	5,13
Aluminium	mg/l	1,26	1,19	0,92
Mangan	mg/l	0,23	0,11	0,17
Eisen	mg/l	39,28	26,19	11,65
Kupfer	µg/l	< 0,01	0,02	n.b.
Nickel	µg/l	0,03	0,08	0,22
Zink	µg/l	0,03	0,04	0,06
Cobalt	µg/l	< 0,03	< 0,03	n.b.
AOX	µg/l	74,00	89,00	71,00
DOC	mg/l	19,63	10,65	26,40

Beprobung Norderney, TK 25: 2209			
Messstelle N18		R-Wert: 2581447 H-Wert: 5954639	Endtiefe [m u. ROK]: 2 Filtertiefe [m u. ROK]: 1 - 2
Zeitraum der Probennahme:		20. – 23.08.2001	
Gelände:			
Grundwasserstand	m u. ROK	0,82	
Farbe		4	
Trübung		leicht trüb	
Geruch		H <sub>2</sub> S	
Wassertemperatur	°C	16,1	
pH-Wert		6,0	
Eh-Wert	mV	119	
El. Leitfähigkeit	µS/cm	489	
O <sub>2</sub> -Gehalt	mg/l	0	
O <sub>2</sub> - Sättigung	%	0	
Säurekapazität	ml	0,8	
Basekapazität	ml	1,70	
Gesamthärte	mmol/l	n.b.	
	°dH	1,4	
Berechnungen:			
Karbonathärte	°dH	2,2	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	48,80	
pε-Wert		2,0	
Labor:			
Bromid	mg/l	0,63	
Chlorid	mg/l	102,47	
Fluorid	mg/l	< 0,10	
Nitrit	mg/l	0,04	
Nitrat	mg/l	< 0,40	
Sulfat	mg/l	23,53	
Phosphat	mg/l	0,75	
Lithium	mg/l	< 0,10	
Natrium	mg/l	56,40	
Kalium	mg/l	3,24	
Ammonium	mg/l	0,22	
Calcium	mg/l	2,87	
Magnesium	mg/l	4,12	
Aluminium	mg/l	0,70	
Mangan	mg/l	0,06	
Eisen	mg/l	5,65	
Kupfer	µg/l	0,02	
Nickel	µg/l	0,15	
Zink	µg/l	0,09	
Cobalt	µg/l	n.b.	
AOX	µg/l	110,40	
DOC	mg/l	30,50	

# **Anhang 5**

## **Ionenbilanzen**

**Anhang 5-1: Grundwasseranalysen Langeoog**

<b>Ionenbilanzen 07.-08.12.1999 (VM) bzw. 07.-09.02.2000 (DF)</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
100	11,39	10,89	2,27	
102	6,31	4,68	14,76	
106o	5,03	3,79	14,12	
106m	6,12	4,89	11,18	
106u	20,55	21,60	-2,49	
123o	9,30	8,01	7,43	
123m	5,30	5,21	0,79	
123u	5,98	4,81	10,81	
127o	9,96	8,85	5,87	
127m	7,45	6,13	9,75	
127u	5,34	4,35	10,21	
128o	4,77	4,12	7,39	
128m	10,21	8,10	11,51	
128u	6,44	5,35	9,27	
129	3,44	2,63	13,50	
130o	-	-	-	
130u	-	-	-	
L4	1,11	1,32	-8,93	
L9	1,45	1,53	-2,80	
L13	2,90	3,71	-12,21	
L19	4,05	3,61	5,67	
L22	2,26	2,90	-12,47	

<b>Ionenbilanzen 03.-06.04.2000</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
100	5,11	4,84	2,77	
102	4,63	4,22	4,68	
106o	4,00	3,79	2,66	
106m	5,01	4,92	0,88	
106u	20,25	20,19	0,16	
123o	8,15	7,93	1,37	
123m	5,09	4,91	1,76	
123u	5,02	4,95	0,70	
127o	8,43	8,37	0,37	
127m	6,32	5,79	4,36	
127u	4,30	4,22	0,85	
128o	6,37	6,09	2,30	
128m	9,15	8,33	4,65	
128u	7,40	6,28	8,21	

Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
129	2,87	2,70	3,11	
130o	-	-	-	
130u	-	-	-	
L4	1,96	1,66	8,33	
L9	1,55	1,15	14,81	
L13	3,33	3,71	-5,37	
L19	3,49	3,73	-3,35	
L22	1,72	2,17	-11,68	

<b>Ionenbilanzen 24.-27.07.2000</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
100	6,07	5,45	5,43	
102	5,24	4,51	7,50	
106o	4,43	3,89	6,47	
106m	5,29	5,14	1,43	
106u	25,85	22,72	6,45	
123o	8,46	7,98	2,93	
123m	5,69	5,46	2,06	
123u	5,59	4,80	7,57	
127o	10,38	8,56	9,56	
127m	6,66	5,64	8,27	
127u	4,90	4,25	7,19	
128o	6,27	5,44	7,12	
128m	10,01	8,44	8,52	
128u	9,92	8,85	5,69	
129	4,16	3,94	2,68	
130o	-	-	-	
130u	-	-	-	
L4	1,89	1,62	7,68	
L9	1,65	1,50	4,75	
L13	5,69	4,98	6,67	
L19	2,81	2,68	2,50	
L22	2,39	2,23	3,64	

<b>Ionenbilanzen 16.-18.10.2000</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
100	13,15	13,41	-0,99	
102	4,81	4,74	0,67	
106o	3,98	4,33	-4,17	
106m	4,98	4,38	6,48	

Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
106u	25,38	25,23	0,29	
123o	7,49	7,34	1,02	
123m	5,04	4,84	2,05	
123u	4,87	4,94	-0,69	
127o	8,78	8,25	3,11	
127m	5,98	5,68	2,55	
127u	4,45	4,11	3,99	
128o	4,43	4,22	2,47	
128m	9,16	8,77	2,16	
128u	7,81	7,61	1,25	
129	3,97	4,12	-1,90	
130o	-	-	-	
130u	-	-	-	
L4	2,17	2,04	3,17	
L9	1,35	1,16	7,84	
L13	4,43	5,05	-6,54	
L19	2,78	2,87	-1,61	
L22	2,49	2,08	9,14	

Ionenbilanzen 08.-11.01.2001				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
100	7,73	7,56	1,10	
102	4,99	4,24	8,05	
106o	4,26	3,97	3,59	
106m	4,90	4,47	4,57	
106u	19,40	19,35	0,13	
123o	6,59	6,18	3,20	
123m	5,27	5,31	-0,39	
123u	5,14	4,64	5,12	
127o	9,25	8,50	4,24	
127m	6,09	6,02	0,59	
127u	4,40	3,93	5,71	
128o	4,33	4,04	3,39	
128m	8,34	7,83	3,12	
128u	11,04	10,65	1,79	
129	2,98	2,76	3,82	
130o	4,90	4,51	4,12	
130u	46,82	45,91	0,98	
L4	2,57	2,79	-4,12	
L9	1,19	1,25	-2,57	
L13	3,03	3,16	-2,12	
L19	2,86	2,53	6,12	
L22	2,29	2,37	-1,56	



<b>Ionenbilanzen 17.-20.04.2001</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
100	6,13	6,98	-6,46	
102	4,57	4,90	-3,46	
106o	4,21	4,21	0,01	
106m	4,64	5,21	-5,80	
106u	33,05	30,53	3,97	
123o	6,57	6,80	-1,75	
123m	5,11	5,19	-0,79	
123u	4,73	7,74	-0,12	
127o	8,82	8,35	2,73	
127m	5,87	6,33	-3,78	
127u	4,10	4,57	-5,45	
128o	4,26	4,02	2,96	
128m	15,57	14,37	3,99	
128u	14,75	11,68	11,61	
129	2,80	2,85	-0,88	
130o	3,84	4,89	-12,01	
130u	49,42	50,93	-1,50	
L4	1,21	1,25	-1,80	
L9	0,76	0,77	-1,00	
L13	3,77	4,17	-5,04	
L19	1,54	1,36	6,51	
L22	1,76	1,71	1,41	

<b>Ionenbilanzen 30.07.-02.08.2001</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
100	4,61	5,14	-5,44	
102	4,68	5,08	-4,08	
106o	4,09	4,36	-3,15	
106m	4,49	4,79	-3,24	
106u	28,58	23,63	9,48	
123o	7,27	8,69	-8,88	
123m	4,83	5,75	8,63	
123u	4,53	4,92	-4,08	
127o	8,67	9,21	-3,03	
127m	5,72	6,74	-8,15	
127u	4,00	4,26	-3,18	
128o	4,16	4,33	-1,99	
128m	7,94	9,05	-6,52	
128u	7,28	12,91	-27,90	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> zu niedrig
129	5,16	6,05	-7,99	
130o	4,85	5,09	-2,43	

Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
130u	30,30	34,56	-6,57	
L4	1,08	1,17	-3,62	
L9	1,11	0,92	9,14	
L13	3,10	3,38	-4,38	
L19	3,23	2,96	4,31	
L22	1,32	1,49	-5,74	

### **Anhang 5-2: Grundwasseranalysen Norderney**

<b>Ionenbilanzen 17.-19.01.2000</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY2	4,06	2,95	15,84	Ks-Wert niedrig
NY4/1	2,81	2,08	14,89	Ks-Wert, Cl <sup>-</sup> niedrig
NY4/2	4,79	4,15	7,22	
NY6/1	2,76	2,09	13,89	
NY6/2	2,69	2,45	4,82	
NY7/1	7,13	5,58	12,23	
NY7/2	5,76	5,09	6,16	
NY8/1	6,91	7,36	-3,16	
NY8/2	7,92	7,89	0,16	
SN3	7,94	7,35	3,80	
SN7	7,83	8,04	-1,33	
SN11	4,96	5,31	-3,45	
BS8	-	-	-	
BS11	2,64	2,84	-3,69	
BS13	4,51	3,41	13,87	
B37/3	3,75	3,01	10,92	
B37/4	9,06	7,67	8,32	
N3	-	-	-	
N7	1,58	1,88	-8,49	
N9	2,01	2,28	-6,28	
N17	2,06	2,16	-2,28	
N18	3,57	4,13	-7,32	

<b>Ionenbilanzen 22.-25.05.2000</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY2	3,95	4,62	-7,84	
NY4/1	2,48	2,86	-7,04	
NY4/2	4,05	4,86	-9,14	
NY6/1	2,68	3,24	-9,56	
NY6/2	2,61	2,93	-5,72	
NY7/1	7,22	7,87	-4,28	
NY7/2	8,40	6,91	9,73	
NY8/1	8,56	8,55	0,03	
NY8/2	7,28	8,47	-7,53	
SN3	9,51	10,12	-3,09	
SN7	8,44	9,85	-7,70	
SN11	10,01	11,47	-6,83	
BS8	4,41	4,54	-1,51	
BS11	5,93	5,78	1,31	
BS13	4,46	5,13	-7,00	
B37/3	4,20	5,01	-8,81	
B37/4	9,34	4,61	33,89	Ks-Wert viel zu niedrig
N3	3,28	2,47	13,98	
N7	2,66	2,33	6,61	
N9	3,70	2,92	11,78	
N17	2,80	3,63	-12,82	
N18	7,51	8,30	-4,81	

<b>Ionenbilanzen 28.-30.08.2000</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY2	4,54	4,65	-1,18	
NY4/1	2,11	2,31	-4,41	
NY4/2	3,86	3,86	-0,02	
NY6/1	2,49	2,48	0,23	
NY6/2	2,63	3,50	-14,16	Ks-Wert hoch
NY7/1	7,05	6,69	2,59	
NY7/2	5,95	5,27	6,04	
NY8/1	7,72	8,46	-4,56	
NY8/2	7,98	8,16	-1,13	
SN3	10,70	10,20	2,44	
SN7	9,60	7,69	11,09	
SN11	9,08	8,50	3,26	
BS8	4,22	4,30	-0,98	
BS11	4,05	4,35	-3,63	
BS13	3,93	4,04	-1,41	
B37/3	4,30	4,17	1,47	
B37/4	9,14	8,91	1,27	

Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
N3	1,53	1,88	-10,21	
N7	2,40	2,15	5,68	
N9	3,14	2,87	4,41	
N17	3,60	3,91	-4,17	
N18	3,34	5,39	-10,87	

Ionenbilanzen 27.-29.11.2000				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY2	5,09	4,72	3,71	
NY4/1	2,30	2,89	-11,40	
NY4/2	3,92	3,26	9,17	
NY6/1	1,80	1,93	-3,47	
NY6/2	3,86	3,02	12,13	
NY7/1	7,16	6,01	8,72	
NY7/2	5,36	5,22	1,25	
NY8/1	9,43	7,27	12,97	
NY8/2	10,40	7,76	14,56	
SN3	10,85	9,02	9,18	
SN7	11,96	7,45	23,24	Ks-Wert u. Cl <sup>-</sup> sehr niedrig
SN11	7,05	6,42	4,68	
BS8	-	-	-	
BS11	2,51	2,51	-0,04	
BS13	3,87	3,37	6,78	
B37/3	3,63	3,78	-2,11	
B37/4	9,22	9,21	0,06	
N3	1,72	2,00	-7,64	
N7	2,59	2,15	9,32	
N9	2,69	2,06	13,17	Ks-Wert zu niedrig
N17	3,60	4,39	-9,93	
N18	5,93	8,07	-15,32	hohe Cl <sup>-</sup> -Gehalte

Ionenbilanzen 29.01.-01.02.2001				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY2	4,27	4,52	-2,78	
NY4/1	3,00	2,55	8,07	
NY4/2	3,87	3,68	2,50	
NY6/1	2,18	3,80	-27,07	Ks-Wert zu hoch
NY6/2	2,48	2,60	-2,51	
NY7/1	7,46	6,55	6,47	
NY7/2	5,73	5,74	-0,06	

NY8/1	8,18	7,30	5,70	
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY8/2	7,53	6,57	6,75	
SN3	14,06	10,36	15,16	Ca <sup>2+</sup> hoch, Ks-Wert niedrig
SN7	7,12	7,12	-0,01	
SN11	6,67	6,73	-0,48	
BS8	3,81	4,13	-4,04	
BS11	2,21	2,18	0,75	
BS13	3,76	3,63	1,65	
B37/3	3,61	3,63	-0,32	
B37/4	9,29	8,90	2,15	
N3	1,70	2,26	-14,20	Ks-Wert u. Nitrat sehr hoch
N7	2,19	2,14	1,13	
N9	1,94	1,98	-0,91	
N17	3,62	3,35	3,81	
N18	5,33	4,71	6,21	

Ionenbilanzen 07.-10.05.2001				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY2	3,31	3,73	-5,99	
NY4/1	2,12	2,75	-12,94	
NY4/2	3,42	4,00	-7,79	
NY6/1	2,32	2,64	-6,46	
NY6/2	2,20	2,74	-10,81	
NY7/1	6,55	7,01	-3,36	
NY7/2	4,83	5,47	-6,18	
NY8/1	7,85	8,75	-5,42	
NY8/2	7,45	7,79	-2,19	
SN3	9,13	10,27	-5,87	
SN7	6,89	7,42	-3,72	
SN11	5,53	6,39	-7,17	
BS8	3,44	3,84	-5,52	
BS11	2,19	2,46	-5,80	
BS13	3,27	4,05	-10,67	
B37/3	3,85	4,61	-8,97	
B37/4	8,39	9,49	-6,13	
N3	1,56	1,82	-7,42	
N7	1,91	1,98	-1,83	
N9	1,83	1,64	5,72	
N17	2,94	3,36	-6,62	
N18	4,56	5,03	-4,91	

<b>Ionenbilanzen 20.-23.08.2001</b>				
Messstelle	Kationensumme C (eq) [mmol/l]	Anionensumme C (eq) [mmol/l]	Abweichung [%]	Bemerkungen
NY2	4,45	4,13	3,75	
NY4/1	2,20	2,42	-4,61	
NY4/2	3,47	3,66	-2,68	
NY6/1	2,19	2,37	-3,92	
NY6/2	2,54	2,45	1,77	
NY7/1	7,59	6,69	6,28	
NY7/2	5,28	5,39	-1,03	
NY8/1	9,38	8,13	7,15	
NY8/2	9,46	8,18	7,28	
SN3	8,14	8,73	-3,47	
SN7	8,88	7,79	6,56	
SN11	6,68	6,69	-0,11	
BS8	3,46	3,67	-2,92	
BS11	2,31	2,53	-4,46	
BS13	3,99	4,04	-0,61	
B37/3	4,01	4,48	-5,57	
B37/4	9,28	8,78	2,78	
N3	1,27	1,66	-13,38	
N7	2,02	1,81	5,25	
N9	1,60	1,77	-5,09	
N17	2,69	3,09	-6,75	
N18	3,24	4,20	-12,95	

## **Anhang 6**

### **Fehlerbetrachtung**

In einer Wasseranalyse nach dem hydrogeologischen Mindestumfang (DVWK 128 1992) sind meist mehr als 99 % aller Ionen erfasst. Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführten Wasseruntersuchungen orientieren sich an dieser Empfehlung, umfassen jedoch weniger Parameter, v.a. im Bereich der Spurenelemente. Trotzdem wurden die durchgeführten Analysen mittels Ionenbilanz nach QUENTIN (1988) überprüft. Dazu konnte das MS-DOS-Programm IONDATA Vers. 2.01/1993 von H.K. THYSEN verwendet werden. In die Berechnung der Ionenbilanz fließen dabei folgende Parameter ein:

Kationen:	Natrium [mg/l], Kalium [mg/l], Calcium [mg/l], Magnesium [mg/l], Eisen [mg/l], Mangan [mg/l], Ammonium [mg/l],	Anionen:	Nitrat [mg/l], Ks-Wert [mmol/l], Chlorid [mg/l], Sulfat [mg/l], Phosphat [mg/l].
-----------	--	----------	--

Das Programm bestimmt die Summe der Konzentrationen von Anionen und Kationen als C(eq) in [mmol/l] und die aus dem Vergleich derer resultierende Abweichung in [%].

Nach DVWK 128 (1992) liegt eine Analyse innerhalb des plausiblen Vertrauensbereichs, wenn der Ionensummenfehler

bis 2 mmol/l (eq) Kationen- oder Anionensumme weniger als 5 % oder

über 2 mmol/l (eq) Kationen- oder Anionensumme weniger als 2 % beträgt.

Die Ionenbilanzen der im Rahmen dieser Forschungsarbeit durchgeführten Analysen zeigen meist Abweichungen zwischen 2 % und 10 % (Anhang 5). Dies betrifft v.a. die oberflächennahen, stark huminstoffhaltigen Grundwässer der DF. Eine ausgeglichene Ionenbilanz ist jedoch nicht gleichbedeutend mit einer guten Wasseranalyse, Analysefehler können sich auch gegenseitig kompensieren (HÜTTER 1994, KÖLLE 2001). Umgekehrt können sich Ungenauigkeiten aber auch addieren, so dass scheinbar große Differenzen zwischen Anionen- und Kationensumme entstehen.

Generell können Ionenbilanzfehler durch Analysenfehler, nicht analysierte, aber quantitativ wirksame Ionen, bei der Berechnung angenommene Wertigkeit der Ionen oder durch die fehlende Berücksichtigung von Komplexen entstehen (DVWK 128 1992). Analysefehler sind v.a. durch die Verdünnung der Proben, den hohen Gehalten an gelösten Organika und an gelöstem Eisen gegeben. Phosphat wurde nicht in allen Proben erfasst und somit in den Ionenbilanzierungen oftmals mit 0 mg/l angegeben. In den Grundwasserleitern der Untersuchungsgebiete ist Quarz das dominierende Mineral. Die Verwitterung der Quarze wird bei pH-Werten < 4 deutlich gesteigert, komplexe organische Säuren üben zusätzlich signifikante Einflüsse aus (MERKEL & SPERLING 1996). Davon ausgehend ist zu vermuten, dass Wässer mit hohen Gehalten an Huminstoffen und geringen pH-Werten auch  $\text{Si}^{2+}$ -Ionen enthalten. Als Mittelwert für Grundwässer wird eine  $\text{SiO}_2$ -Konzentration von 12-17 mg/l angegeben (MERKEL & SPERLING 1996).  $\text{Si}^{2+}$  bzw. Kieselsäure werden in Ionenbilanzen üblicherweise nicht aufgenommen, können jedoch durch erhöhte Konzentrationen zu Ungleichgewichten führen.

Da die spektralphotometrischen Bestimmungen der Metalle und Stickstoffverbindungen bei gefärbten Proben mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet ist, wurden die gelben bis braunen Grundwässer der DF ab April 2000 mittels ICP-OES analysiert. Ein mit einer hoher Fehlerwahrscheinlichkeit behafteter Parameter ist der Ks-Wert. Die Bestimmung der Säurekapazität sollte sofort nach der Probenahme erfolgen. Dies ist im Gelände nicht immer möglich, abhängig von der Lage der Messstellen und den Witterungsbedingungen. Unter diesen Umständen können Fehler auftreten. Zudem sind die Dichten und die Ionenaktivitäten der Probe und der



Säure abhängig von der Temperatur. Bei niedrigen Temperaturen läuft die Reaktion zwischen Säure und Wasserprobe verzögert ab, das Volumen der wässrigen Substanzen ist zudem geringer. Werden die Proben eine gewisse Zeit nach der Entnahme analysiert, kann sich das Milieu, z.B. der pH-Wert, durch Luftzufuhr u.a. verändert haben. Das Milieu beeinflusst direkt die Löslichkeit der im Wasser gelösten Ionen und deren Aktivität. Zum Zeitpunkt der Laboruntersuchungen auf Anionen und Kationen im Labor kann also ein geringfügig anderes Milieu in der Wasserprobe geherrscht haben, als bei der Bestimmung der Säurekapazität im Gelände. Um diesen Effekt so gering wie möglich zu halten, wurden die Proben nach der Entnahme dunkel, kühl und luftdicht verschlossen gelagert.

Die Überprüfung der Untersuchungen durch Ionenchromatographie mittels Standards ergibt folgende maximale Messungenauigkeiten:

Kationen:	Lithium [mg/l] $\pm 12 \%$ ,	Anionen:	Fluorid [mg/l] $\pm 14 \%$ ,
	Natrium [mg/l] $\pm 12 \%$ ,		Chlorid [mg/l] $\pm 7 \%$ ,
	Kalium [mg/l] $\pm 10 \%$ ,		Bromid [mg/l] $\pm 11 \%$ ,
	Calcium [mg/l] $\pm 7 \%$ ,		Nitrat [mg/l] $\pm 15 \%$ ,
	Magnesium [mg/l] $\pm 9 \%$ ,		Sulfat [mg/l] $\pm 16 \%$ .

Diese Abweichungen sind im wesentlichen auf Fehler beim Ansetzen der Verdünnungen (Standard 1:100 und 1:500) zurückzuführen. Die Temperatur der Standardlösungen spielt auch hier eine Rolle, die Vergleichbarkeit der Messungen ist somit nicht immer hundertprozentig gegeben.

Ein weiteres Verfahren zur Überprüfung der Plausibilität von Analysen ist die wasserchemische Korrelation (HÜTTER 1994, DVWK 128 1992). In Grundwässern kommen Parameter-Paare vor, die sich in bestimmten Konzentrationsbereichen gegenseitig ausschließen. So etwa werden bei hohen  $O_2$ -Konzentrationen  $> 5$  mg/l nur geringe Gehalte an  $Fe^{2+}$ -,  $Mn^{2+}$ -,  $NO_2^-$ - (jeweils  $< 0,05$  mg/l) und  $NH_4^+$ -Ionen ( $< 0,10$  mg/l) im Grundwasser gelöst vorliegen. Des weiteren ist bei  $Fe^{2+}$ - und  $Mn^{2+}$ -Konzentrationen  $> 0,2$  mg/l davon auszugehen, dass Nitrat nur in geringen Mengen von  $< 2,0$  mg/l auftritt. Die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Analysen bestätigen diese Korrelationen.

# **Anhang 7**

## **Analysegeräte und Chemikalien**

## **In situ- und Feldmessungen an Grund- und Oberflächenwässern:**

### **Geräte:**

- pH-Meter pH 191 / *WTW*
- Conductometer LF 191 / *WTW*
- Microprocessor Oximeter OXI 196 / *WTW*

### **Messsonden:**

- pH-Elektrode SenTix 41 / *WTW*
- Eh-Elektrode Pt 4805-S7 / *Mettler Toledo*
- Temperatur-Elektrode TFK 530-1,5 / *WTW*
- Leitfähigkeits-Elektrode LS1/T-1,5 / *WTW*
- Sauerstoff-Elektrode EOT 196 / *WTW*

### **Chemikalien:**

- Pufferlösung pH 4.00: *Merck* 1.09435
- Pufferlösung pH 7.00: *Merck* 1.09439
- Pufferlösung pH 10.00: *Merck* 1.09438
- Kaliumchlorid: *Merck* 1.04936
- Salzsäure (0,1 mol/l): *Merck* 1.09060
- Natronlauge (0,1 mol/l): *Merck* 1.09141
- Schwefelsäure (95-97%): *J.T. Baker* 6057
- Salpetersäure (65%): *Merck* Art. 441
- Titrimetrische Bestimmung der Gesamthärte: *Merck* Aquamerck 1.08039.0001

## **Total Organic Carbon in Sedimenten:**

### **Geräte:**

- Multiphase Carbon Determinator RC 412 / *LECO*
- Microline 320 9 Pin Printer / *OKIDATA*

### **Chemikalien:**

- Synthetic Carbon (Carbon Percent=1.06): *LECO* 502-029
- Calcium Carbonate (Carbon Percent=12.00): *LECO* 501-034

### **Gase:**

- Sauerstoff 3.5 : *Westfalen AG* Art. 0015

## Kalkgehaltsbestimmung in Sedimenten:

### Geräte:

- CO<sub>2</sub>-Gasometer nach DIN 18129

### Chemikalien:

- Salzsäure (37%): *Merck* Art. 314

## Analyseverfahren an wässrigen Lösungen

## Adsorbierbare Organische Halogene:

### Geräte:

- mci Organic Halogen Analyzer TOX-10 / *Abimed*
- mci Microcoulometer / *Abimed/Mitsubishi*
- mci TOX Sample Preparator / *Abimed*

### Chemikalien:

#### 1 M Elektrodenlösungen:

- Kaliumnitrat: *Merck* 1.05063
- Kaliumchlorid: *Merck* 1.04936

#### Elektrolytlösung:

- Essigsäure (99-100%): *J.T. Baker* 6152
- Natriumacetat: *Merck* Art. 6264

#### Standard:

- 4-Chlorphenol: *Merck* 8.02254

#### Säulenpräparation:

- Aktivkohle: *Mitsubishi* TX070
- Keramikwolle: *Mitsubishi* TX067

#### Gase:

- Sauerstoff, medizinisch: *Westfalen AG* Art. 0012
- Argon 4.6: *Westfalen AG* Art. 0050

## **Ionenchromatographie:**

### **Geräte:**

- 690 Ion Chromatograph mit thermostatischer Leitfähigkeitsdetektion / *Methrom*
- 697 IC-Pump / *Methrom*
- 698 Autosampler / *Methrom*

### **Trennsäulen:**

- IC Anionen Column SUPER-SEP (6.1009.000) / *Methrom*  
Material: Polymethacrylat mit quaternären Ammoniumgruppen
- Metrosep Cation 1-2 (6.1010.000) / *Methrom*  
Material: Sphärisches Silicagel mit Polybutadienmaleinsäuregruppen

### **Software:**

- IC-Metrodata for Windows Vers. 1.44 (Win 95) / *Methrom*

### **Chemikalien:**

#### **Anionen-Eluent:**

- Phthalsäure: *Fluka* 80010
- Acetonitril: *Merck* 1.00030
- Tris(hydroxymethyl)-aminomethan: *Merck* 1.08382

#### **Anionen-Standard:**

- Natriumfluorid: *Fluka* 71519
- Kaliumchlorid: *Merck* 1.04936
- Natriumbromid: *Fluka* 71330
- Kaliumnitrat: *Merck* 1.05063
- Natriumsulfat: *Fluka* 71960

#### **Kationen-Eluent:**

- DL-Weinsäure: *Fluka* 95330
- Pyridin-2,6-dicarbonsäure: *Merck* 800614

#### **Kationen-Standard:**

- Natriumchlorid: *Merck* Art. 6404
- Kaliumchlorid: *Merck* 1.04936
- Calciumchlorid-Dihydrat: *Fluka* 21101
- Magnesiumchlorid-Hexahydrat: *Merck* Art. 5833
- Lithiumchlorid: *Fluka* 62480

## Spektralphotometrie:

### Geräte:

- UV/VIS Spectrometer Lambda 2 / *Perkin Elmer*
- Ex-800 Printer / *Perkin Elmer*

### Chemikalien:

#### Spektroquant-Testsätze:

- Aluminium Test: *Merck* Spektroquant 1.14825.0001
- Ammonium Test: *Merck* Spektroquant 1.14752.0001
- Mangan Test: *Merck* Spektroquant 1.14770.0001

#### Eisen-Bestimmung:

- Ammoniumacetat: *Fluka* 09690
- Essigsäure (99-100%): *J.T. Baker* 6152
- Hydroxylammoniumchlorid: *Merck* Art. 4616
- 0-Phenanthrolin-hydrochlorid Monohydrat: *Fluka* 77510

#### Nitrit-Bestimmung:

- Essigsäure (99-100%): *J.T. Baker* 6152
- L(+)-Weinsäure: *Merck* Art. 804
- 1-Naphthylamin: *Merck* Art. 6245
- Sulfanilsäure: *Merck* Art. 686

### Küvetten und Wellenlängen:

Ammonium-Bestimmung:	Wellenlänge 690 nm, 10 mm Quarzglas-Küvette SUPRASIL / <i>HELLMA</i>
Aluminium-Bestimmung:	Wellenlänge 545 nm, 10 mm Quarzglas-Küvette SUPRASIL / <i>HELLMA</i>
Eisen-Bestimmung:	Wellenlänge 510 nm, 10 mm Quarzglas-Küvette SUPRASIL / <i>HELLMA</i>
Mangan-Bestimmung:	Wellenlänge 445 nm, 10 mm Quarzglas-Küvette SUPRASIL / <i>HELLMA</i>
Nitrit-Bestimmung:	Wellenlänge 530 nm, 50 mm Glasküvette / <i>NANOCHLOR</i>